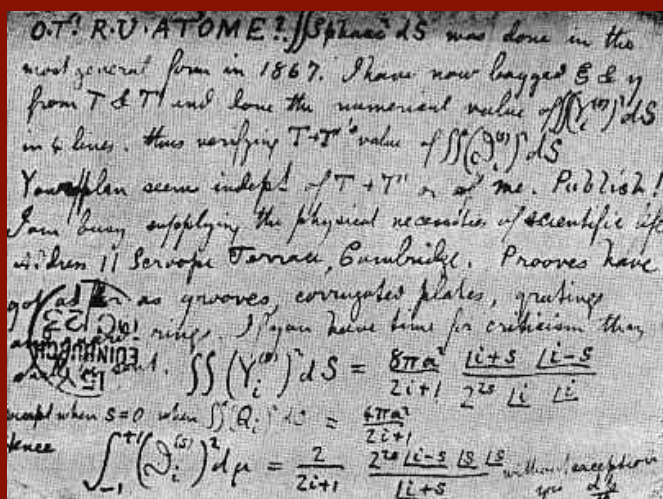


# Trabajo Fin de Máster Máster Universitario en Ingeniería Electrónica, Robótica y Automática

## Diseño de Aplicación para Formación: Control de Temperatura Mediante PLC



**Autor:** Alexis Damián Montalvo Guerrero  
**Tutor:** Dr. Luis Fernando Castaño Castaño

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019





Trabajo Fin de Máster  
Máster Universitario en Ingeniería Electrónica, Robótica y  
Automática

Diseño de Aplicación para Formación: Control de  
Temperatura Mediante PLC

Autor:

**Alexis Damián Montalvo Guerrero**

Tutor:

**Dr. Luis Fernando Castaño Castaño**

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

2019





Trabajo Fin de Máster:   Diseño de Aplicación para Formación: Control de Temperatura Mediante PLC

Autor:           Alexis Damián Montalvo Guerrero  
Tutor:           Dr. Luis Fernando Castaño Castaño

El tribunal nombrado para juzgar la Tesis arriba indicada, compuesto por los siguientes doctores:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:



*A mi familia*  
*A mis amigos*  
*A mis profesores*



# Agradecimientos

---

**L**a familia siempre será el soporte principal de mi vida, sin su apoyo incondicional estoy seguro de que no habría podido conseguir nada de lo que realizado hasta ahora, por esto y un millón de motivos quiero agradecerles ya que además son los responsables sobre todo de mi formación personal.

A los profesores que con sus concejos e inculcar en mi ese deseo de conocimiento y curiosidad latente de no quedarme conforme con lo que sé, en especial a mi tutor de trabajo de fin de máster Fernando, ya que sin su guía este camino hubiese sido mucho más complicado.

Finalmente, a todas las personas que han colaborado por que mi estadía en esta institución haya sido tan amena, sus concejos de como funcionan las cosas, aprender a manejar el ambiente y sobrellevar las adversidades que se presentan a diario en la vida estudiantil, especialmente a las 2 personas que me acompañaron a lo largo de este camino Mauricio y Daniel.

*Alexis Damián Montalvo Guerrero  
Sevilla, 2019*



# Resumen

---

Actualmente existen muchas fuentes de conocimiento sea por medio de internet o basándose en manuales de usuario, sin embargo estos manuales te dicen como llegar del punto “A” a punto “B” sin explicar el porqué de los pasos que fueron necesarios realizar en el camino, esto se traduce en una falta de conocimiento de las funciones de las herramientas que se utilizaron para el desarrollo de la solución del problema. La necesidad de guías de prácticas didácticas que despierten la curiosidad del estudiante y al mismo tiempo presenten un desafío a superar es el porque del desarrollo de este trabajo de fin de máster.

Se determinó los requerimientos para el desarrollo de la aplicación, los dispositivos necesarios, el esquema de arquitectura que llevaría y las herramientas del sistema Tia Portal necesarias para su desarrollo.

Se realizó las conexiones necesarias entre los dispositivos, la programación del PLC, el desarrollo de las diferentes pantallas que constituyen el sistema SCADA del sistema y se puso a prueba el controlador proporcionado por el mismo software Tia Portal.

La programación del PLC que se implemento se realizó siguiendo las recomendaciones del fabricante y usando el método de jerarquización de bloques, demostrando que este método debe ser con el que se deba impartir a los estudiantes debido a las ventajas de planificación, implementación y corrección de fallos que conlleva.

Se desarrolló un sistema de control SCADA con varios niveles de acceso para cada pantalla, así también dependiendo del usuario del sistema se implemento un sistema de cargos que permite realizar diferentes tipos de acciones, de esta manera se abarcó una gran variedad de herramientas con las que cuenta el sistema.

Las pruebas de funcionamiento demuestran que la aplicación soluciona el problema de control de una planta de temperatura con el uso de la herramienta de control proporcionada por el software Tia Portal.





# Abstract

---

Currently there are many sources of knowledge either through the internet or based on user manuals, however these manuals tell you how to get from point “ A ” to point “ B ” without explaining the reason for the steps that were necessary perform on the road, this results in a lack of knowledge of the functions of the tools that were used to develop the solution to the problem. The need of guides of didactic practices that awaken the curiosity of the student and at the same time present a challenge to overcome is the reason for the development of this master’s thesis.

It was determined the requirements for the development of the application, the necessary devices, the architectural scheme that it would take and the tools of the Tia Portal system necessary for its development.

The necessary connections were made between the devices, the programming of the PLC, the development of the different screens that make up the SCADA system of the system and the driver provided by the Tia Portal software itself was put to the test.

The programming of the PLC that was implemented was carried out following the recommendations of the manufacturer and using the method of hierarchy of blocks, demonstrating that this method must be with which it should be imparted to the students due to the advantages of planning, implementation and correction of failures. what it entails.

A SCADA control system was developed with several levels of access for each screen, as well as depending on the user of the system a charging system was implemented that allows performing different types of actions, thus covering a great variety of tools with which account the system.

The operation tests show that the application solves the problem of control of a temperature plant with the use of the control tool provided by the Tia Portal software.



# Índice

---

<i>Resumen</i>	V
<i>Abstract</i>	VII
<i>Índice de Figuras</i>	1
<i>Índice de Tablas</i>	5
<i>Notación</i>	7
<b>1 Introducción</b>	<b>9</b>
1.1 Motivación	9
1.2 Objetivos	11
1.3 Estructura del Trabajo	11
1.4 Metodología	12
<b>2 Hardware</b>	<b>13</b>
2.1 Componentes	13
2.1.1 Planta de Temperatura PCT 37-100	13
Tipos de Control	14
2.1.2 PLC S7-1200	14
2.1.3 Panel Táctil KTP700 Basic PN	15
2.2 Conexionado	16
2.2.1 Esquema	17
2.3 Función de cada dispositivo en la aplicación	18
<b>3 Software</b>	<b>21</b>
3.1 Interfaz	21
3.1.1 Áreas de la Interfaz	22
3.1.2 Lenguaje de Programación	23
3.1.3 Bloques de Programa	24
Objetos Tecnológicos	25

3.2	PLC	25
3.2.1	Normalizado	26
3.2.2	Escalado	27
3.2.3	PID Compact	28
	Tiempo de Muestreo	30
	Tipos de Operación	30
	Llamada	31
	Configuraciones Básicas	32
	Sintonización del PID	36
3.3	HMI	37
	Configuraciones Iniciales	37
3.3.1	Programación	40
3.3.2	Recomendaciones	42
	Colores	42
	Color de las Pantallas	42
	Fondo de Pantalla	42
3.3.3	Creación de Elementos	43
3.3.4	Seguridad	43
<b>4</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>45</b>
4.1	Sistema de Temperatura	45
4.2	Configuración y conexión de la arquitectura implementada	46
4.3	Configuración PLC	47
4.4	Programación del PLC	48
4.4.1	Creación de la tabla de variables del PLC	48
4.4.2	Desarrollo de los bloques de programa	49
	Bloques de Función	49
	Bloque de función de la señal de tensión del sensor de temperatura	50
	Bloque de programa PID	51
	Bloque de función variables del PID	53
	Bloque de función de la variable U	54
	Bloque de programa Startup	55
4.5	Bloque de programa principal MAIN	57
4.6	Programación de las pantallas del HMI	58
4.6.1	Tabla de Variables del HMI	59
4.6.2	Creación de Usuarios	60
4.6.3	Plantilla	62
4.6.4	Pantalla Principal	63
4.6.5	Monitorizar Procesos	64
4.6.6	Monitorizar Parámetros	64
4.6.7	Administración de usuarios	65
4.7	Proceso de Operación de auto sintonizado	66

---

<b>5 Resultados</b>	<b>71</b>
5.1 Respuesta del sistema a seguimiento de referencias	71
5.2 Respuesta del sistema ante perturbaciones	72
<b>6 Conclusiones</b>	<b>75</b>
<b>Apéndice A Datasheet S71200 6ES7214-1BG40-0XB0</b>	<b>77</b>
<b>Apéndice B Datasheet HMI KTP700 Basic 6AV21232GB030AX0</b>	<b>85</b>
<b>Apéndice C Datasheet Process Control Trainer 37-100</b>	<b>97</b>
<b>Apéndice D Guía de práctica de formación 1</b>	<b>101</b>
<b>Apéndice E Guía de práctica de formación 2</b>	<b>117</b>
<b>Apéndice F Guía de práctica de formación 3</b>	<b>137</b>
<i>Bibliografía</i>	159



# Índice de Figuras

---

1.1	Cuarto Frío	10
1.2	Criadero de pollos de Engorde	10
2.1	Planta de temperatura PCT 37-100	14
2.2	Diagrama de bloques de la planta de temperatura	14
2.3	PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Rly	15
2.4	Signal Board 6ES7 232-4HA30-0XB0	15
2.5	Pantalla HMI KTP700 Basic PN de Siemens	16
2.6	Puertos de la Pantalla HMI KTP700 Basic PN de Siemens	16
2.7	Esquema de conexiónado del PLC y el soplador	17
2.8	Esquema de conexión del sistema	17
2.9	Visualización del sistema real	18
3.1	Pantalla inicial Tia Portal	22
3.2	Pantalla del portal de Tia Portal	22
3.3	Áreas de la interfaz Tia Portal	23
3.4	Bloques de Programación	24
3.5	Agregar Dispositivo PLC	26
3.6	Curva de la instrucción normalizar	27
3.7	Bloque de instrucción normalizado	27
3.8	Curva de la instrucción escalar	27
3.9	Bloque de instrucción escalar	28
3.10	Diagrama de bloques de PID	28
3.11	Bloque de PID Compact	29
3.12	Creación del bloque de operación cíclico	31
3.13	Pantalla de creación de objeto tecnológico	32
3.14	Pantalla de configuraciones iniciales	32
3.15	Pantalla de configuraciones de entradas y salidas del PID	33
3.16	Pantalla de configuraciones de parámetros iniciales del PID	33

3.17	Pantalla de configuraciones de los límites del valor real del PID	34
3.18	Pantalla de configuraciones de la escala del valor real de entrada del PID	34
3.19	Pantalla de configuraciones de los límites de valor de salida del PID	35
3.20	Diagrama de bloques de la sintonización de un sistema de temperatura [2]	36
3.21	Agregar Dispositivo HMI	37
3.22	Pantalla de configuración inicial del HMI	38
3.23	Pantalla de configuración del formato de imagen del HMI	38
3.24	Pantalla de configuración de avisos del HMI	38
3.25	Pantalla de configuración de las imágenes del HMI	39
3.26	Pantalla de configuración de las imágenes del HMI	39
3.27	Pantalla de configuración de los botones del HMI	40
3.28	Pantalla de la plantillas del HMI	40
3.29	Categoría de elementos básicos	41
3.30	Categoría de elementos	41
3.31	Categoría de controles	42
3.32	Categoría de gráficos	42
3.33	Categoría de gráficos	43
4.1	Esquema básico de la planta de temperatura	45
4.2	Diagrama de bloques de la aplicación	46
4.3	Arquitectura de conexión entre PLC y HMI	47
4.4	Pantalla de configuración de entradas analógicas	48
4.5	Tipo de salida analógica	48
4.6	Tabla de variables del PLC utilizadas en el programa	49
4.7	Área de trabajo de un bloque de función	49
4.8	Programación del bloque de función de la señal de temperatura	50
4.9	Pantalla de configuraciones del bloque "PID_ Compact"	52
4.10	Bloque de instrucción PID	52
4.11	Cuadro Vacío	53
4.12	Programa del bloque de función "Variables del PID"	54
4.13	Programa del bloque de función "Variables U"	55
4.14	Pantalla de configuración del bloque "Startup"	56
4.15	Programación del bloque de programa "Startup"	56
4.16	Programación del bloque de programa "MAIN"	58
4.17	Esquema de pantallas del HMI	59
4.18	Tabla de variables del HMI en Tia Portal	60
4.19	Configuración de grupos de usuarios	61
4.20	Configuración de grupos de usuarios	61
4.21	Configuración de contraseña	62
4.22	Plantilla del HMI	63
4.23	Pantalla principal del HMI	63
4.24	Pantalla de Monitorizar Procesos	64
4.25	Pantalla de Monitorizar Parámetros	65
4.26	Pantalla de Administración de Usuarios	65
4.27	Puesta en Servicio del PID	66



---

4.28	Optimización Inicial	67
4.29	Optimización inicial en progreso	67
4.30	Optimización Fina	69
4.31	Optimización fina en progreso	69
4.32	Optimización fina completa con éxito	70
5.1	Curvas de respuesta del sistema ante un cambio de Setpoint de 40°C a 50°C	71
5.2	Curvas de respuesta del sistema ante un cambio de Setpoint de 50°C a 40°C	72
5.3	Curvas de respuesta del sistema ante perturbaciones de incremento del caudal del flujo de aire	73
5.4	Curvas de respuesta del sistema ante una perturbación de disminución de caudal flujo de aire	73
5.5	Curvas de respuesta del sistema a un proceso con cambio de consigna y perturbaciones	74



# Índice de Tablas

---

3.1	Tabla de entradas del bloque PID	29
3.2	Tabla de salidas del bloque PID	29
3.3	Tabla de símbolos del algoritmo PID	30
4.1	Tabla de señales del sistema	46
4.2	Tabla de señales del sistema	47
4.3	Tabla de valores tomados del sistema	51
4.4	Tabla de valores de los parámetros MAX Y MIN	51
4.5	Tabla de valores de los parámetros MAX Y MIN	60
4.6	Tabla de usuarios del HMI	60
4.7	Tabla de asignación de usuarios del HMI	61



# Notación

---

A	Amperios (Medida de corriente eléctrica)
AC	Corriente alterna
DC	Corriente continua
GB	Giga- (Prefijo= $10^9$ )
HMI	Interfaz humano-máquina
OB	Objeto Tecnológico
PCT	Entrenador de procesos de control
PID	Controlador proporcional, integral y derivativo
PLC	Controlador Lógico Programable
Rly	Relé
SCADA	Sistema de supervisión, control y adquisición de datos
TFM	Trabajo de fin de Máster
TFT	Transistor de películas finas
V	Voltios (Medida de tensión eléctrica)



# 1 Introducción

---

*Los científicos de hoy piensan en profundizar y no en esclarecer.  
Uno debe ser sensato para pensar con claridad, pero uno puede  
pensar con profundidad aún siendo un demente.*

NIKOLA TESLA

**E**n este capítulo se explica la importancia de este trabajo, además de las motivaciones, objetivos que fueron los motivadores de la realización del mismo y la metodología que se utilizó para el desarrollo del trabajo. También se encuentra su estructura general donde se describe el contenido del proyecto.

## 1.1 Motivación

En la actualidad uno puede encontrar prácticamente todo el conocimiento que se necesita para el desarrollo de aplicaciones con PLC, sin embargo este conocimiento es disperso y requiere en varias ocasiones un trabajo de investigación arduo que puede llegar a ser frustrante.

La formación de los futuros profesionales encargados de ayudar a solucionar problemas diarios de la comunidad, facilitar procesos e incluso incrementar sus ingresos es sumamente importante y cuando se cuenta con guías que orientan de una manera coherente permitiendo la familiarización con las herramientas que se tiene a disposición los resultados serán mucho más evidentes contribuyendo al desarrollo de la sociedad.

Este trabajo se centra en la temperatura, una variable delicada que posee un cierto grado de dificultad de controlar pero que necesita tomar especial atención. A nivel industrial o incluso de pequeñas empresas, el uso de PLCs para solucionar la problemática de controlar la temperatura es una solución viable, sin embargo, cuando el profesional se encuentra con este reto muchas veces comete errores de novato debido a la falta de guías concretas acerca del tema.

Aplicaciones que requieren un control de temperatura hay muchas como por ejemplo el cuarto frío que se muestra en la Figura 1.1 utilizado para conservar alimentos o curar la carne, o el criadero de pollos de engorde que se muestra en la Figura 1.2 son tan solo 2 de las múltiples aplicaciones de la industria que requiere no solo un control sino también una monitorización de la temperatura a la que se encuentra, ya que un error podría llegar a provocar pérdidas cuantiosas para el propietario.



**Figura 1.1** Cuarto Frío.



**Figura 1.2** Criadero de pollos de Engorde.

Es por esto que la creación de guías claras, coherentes y que presenten un reto para el estudiante es la motivación principal del desarrollo de este trabajo.



## 1.2 Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) es la creación de una aplicación para la formación de estudiantes centrado en el control de temperatura mediante PLC. Para ello se utilizó un autómata programable (PLC) con una panel táctil, además, se usó un PCT 37-100 que es una planta de temperatura sobre la que se aplicó el control. Concretamente, se consideró el uso de un controlador PID y se diseñó una interfaz hombre-máquina (HMI) que permite la interacción y monitorización del operario sobre el sistema.

Para lograr la meta propuesta de este TFM fue necesario la realización de cada uno de los objetivos que se detallan a continuación:

- Análisis de las herramientas y posibles aplicaciones con las que cuenta TIA Portal.
- Conocer a detalle el funcionamiento y componentes internos de la planta de temperatura PCT 37-100.
- Establecer una comunicación basada en Ethernet Industrial (PROFINET) entre los dispositivos que constituyen la aplicación.
- Comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación.
- Elaboración de una guía de formación con conexión + PID.
- Elaboración de una guía de formación con conexión + PID + Pantalla de operador.
- Elaboración de una guía de formación con conexión + PID + Pantalla de operador + autosintonizado.

## 1.3 Estructura del Trabajo

A continuación, se muestra la estructura del Trabajo de Fin de Máster.

- Capítulo 1. Introducción.  
Dedicado a realizar una breve introducción sobre la problemática y necesidad de la temperatura en diferentes aplicaciones, la solución que ofrece el uso de PLCs, la facilidad que ofrece una pantalla táctil, los objetivos a realizar y la estructura del trabajo.
- Capítulo 2. Hardware.  
Describe a grandes rasgos los componentes físicos que constituyen la aplicación, así como la arquitectura implementada, y la función de cada uno de los componentes dentro de la aplicación.
- Capítulo 3. Software.  
Describe el uso del programa TIA Portal, la interfaz, la programación de los PLCs, pantallas HMI y detalle sobre las funciones específicas utilizadas para el desarrollo del trabajo.

- **Capítulo 4. Desarrollo.**  
Detalla los procedimientos necesarios que fueron desarrollados para realizar la aplicación, configuraciones y conexiones de cada uno de los dispositivos.
- **Capítulo 5. Conclusiones.**  
Muestra las conclusiones obtenidas luego de finalizar el trabajo y futuros posibles trabajos relacionados con los elementos empleados. Dedicado

## **1.4 Metodología**

En esta sección se describe la metodología utilizada para el desarrollo del trabajo, esta descripción se realiza en una serie de items que detallan cada uno de los pasos.

- **Planteamiento del Problema.**
- **Familiarización con los dispositivos.**
- **Configuración de los requerimientos del sistema para cada dispositivo.**
- **Programación.**
- **Validación del sistema.**
- **Elaboración de guías.**

Esta metodología ofrece flexibilidad ya que en varias ocasiones es necesario volver a un paso anterior dependiendo de los resultados obtenidos, es decir este proceso no sigue una estructura lineal.

## 2 Hardware

---

El presente capítulo se presenta todos los elementos físicos necesarios para el desarrollo del proyecto, se incluye una descripción general de cada uno de los distintos componentes, el conexionado y la configuración necesaria para su correcto funcionamiento; Además se hace una descripción de la función específica que desempeña cada elemento.

### 2.1 Componentes

El proyecto consta de una planta de temperatura Process Control Trainer de Feedback, una pantalla SIMATIC HMI de Siemens, un PLC S7-1200 de Siemens, un switch SCALANCE XB005 de Siemens, 2 cables de red y una fuente de alimentación de 24 V. A continuación se realiza una descripción de la planta de temperatura, el PLC y la pantalla HMI, en lo que se refiere al switch SCALANCE XB005 cabe resaltar que permite la comunicación de hasta 4 dispositivos, además de conectarlo al router para que el ordenador pueda subir los programas al PLC y al panel táctil.

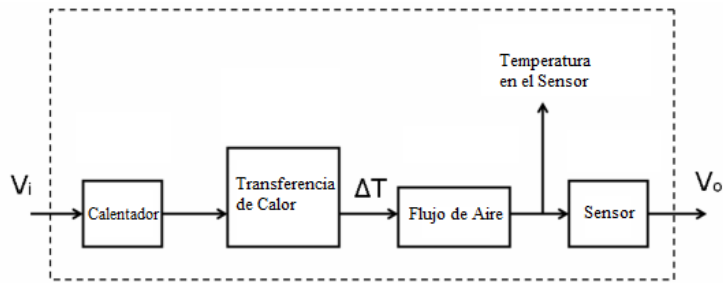
#### 2.1.1 Planta de Temperatura PCT 37-100

La aplicación consiste en establecer un control a un proceso de temperatura, para esto se cuenta con el equipo PCT 37-100 cuyo objetivo será recrear una clásica situación industrial en la que sea necesario aplicar un control de temperatura, con ciertos retrasos de temperatura. La planta se muestra en la Figura 2.1. Para consultar detalles específicos de los rangos de tensión consultar el Apéndice C.

La planta toma aire directamente de la atmósfera por medio de un soplador centrífugo, este aire se calienta cuando atraviesa una rejilla de resistencia antes de ser expulsado de nuevo al exterior a través de un conducto. La planta cuenta con un sensor de temperatura que lo convierte en un sistema de lazo cerrado, este sensor puede ser colocado en diferentes posiciones a lo largo del conducto, ofreciendo de esta manera diferentes estados de sensibilidad. El diagrama de bloques que describe el lazo de la planta se muestra en la Figura 2.2



**Figura 2.1** Planta de temperatura PCT 37-100.



**Figura 2.2** Diagrama de bloques de la planta de temperatura.

**Tipos de Control**

La planta cuenta con dos opciones de control, la primera se refiere al uso de un controlador interno la cuál no utilizaremos, la segunda opción consiste en el uso de un controlador externo por el que se controle la temperatura del sistema, para este trabajo se usará la segunda opción por lo que es necesario realizar pequeñas configuraciones dentro de la misma planta.

La planta en su panel cuenta con un switch de selección que permite elegir que tipo de controlador se va a utilizar, por lo que se elige la opción de controlador externo, además, el sensor de temperatura permite ser colocado en diferentes posiciones dependiendo del tipo de actuación que se desee, variando en la velocidad de acción del controlador dependiendo si se encuentra cerca o más alejado de la rejilla que calienta el flujo de aire.

**2.1.2    PLC S7-1200**

En esta sección se describe a grandes rasgos las características del PLC y como se aplican en la ejecución de la aplicación.

El PLC es el encargado de realizar todo el proceso de control sobre la planta, adquiere y procesa las variables de entrada y salida; interactúa directamente con el panel táctil, recibe las variables a través de la tabla de variables y procede con la ejecución de la función correspondiente, según la programación que lleve cargado.



**Figura 2.3** PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Rly.

El modelo es un SIMATIC S7-1200 con la CPU 1214 AC/DC/Rly con referencia 6ES7 214-1BG40-0XB0, el cuál se muestra en la Figura 2.3, el modelo estándar de este dispositivo no cuenta con salidas analógicas por lo que es necesario añadir un signal board AQ 1x12 bits con referencia 6ES7 232-4HA30-0XB0, que se muestra en la Figura 2.4.

El módulo mencionando permite tener una salida analógica encargada de controlar la planta de temperatura, el signal board se integra directamente en el cuerpo del PLC. Al igual que el panel táctil es necesario alimentar al PLC con una fuente de alimentación de 24 V. Las características y detalles específicos se detallan en el Apéndice A.



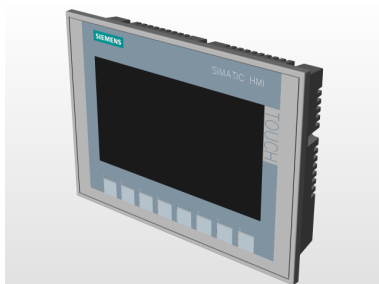
**Figura 2.4** Signal Board 6ES7 232-4HA30-0XB0.

### 2.1.3 Panel Táctil KTP700 Basic PN

El panel táctil SIMATIC HMI de Siemens hace posible la creación de una interfaz para el usuario de la aplicación, en el caso específico de este proyecto permite visualizar las curvas obtenidas de las variables que interactúan con el controlador de la planta, es decir permite al estudiante aprender una manera de mostrar las acciones que el PLC realiza, monitorizarlas e incluso ser capaz de modificarlas cuando considere necesarias en un proceso que se realiza en tiempo real, es decir un SCADA.

La aplicación se realizó haciendo uso del modelo KTP700 Basic PN con referencia 6AV2123-2GB03-0AX0, la misma que cuenta con un panel táctil de TFT7, 800x400 píxeles con 65536 colores, para más especificaciones véase el Apéndice B. El panel se muestra en la Figura 2.5 donde se aprecia que también cuenta con 8 botones físicos, con los

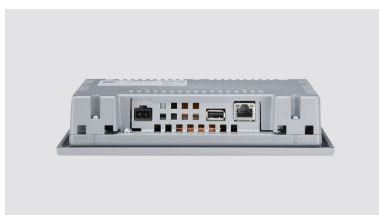
que se puede interactuar, además de su función de panel táctil, ampliando las posibilidades para que el usuario decida cual es la mejor opción dependiendo de su aplicación.



**Figura 2.5** Pantalla HMI KTP700 Basic PN de Siemens.

La Figura 2.6 muestra los diferentes puertos que posee el panel donde se aprecia su entrada de alimentación, entrada USB 2.0 y el puerto de conexión PROFINET. La entrada de alimentación debe conectarse a una fuente de DC a 24V.

El puerto USB permite conectar a la pantalla una memoria externa de hasta 16 GB en donde se puede almacenar capturas de la pantalla táctil, sin embargo, no permite cargar el programa al panel por medio de esta vía. El puerto de conexión PROFINET permite la comunicación entre la pantalla y los otros dispositivos que cuenten con el mismo protocolo de comunicación.



**Figura 2.6** Puertos de la Pantalla HMI KTP700 Basic PN de Siemens.

## 2.2 Conexionado

La Figura 2.7 muestra el cableado que tiene el PLC con el soplador, en ella podemos apreciar el cableado necesario para el desarrollo de este proyecto, se detallan los cables que hacen referencia a la salida analógica del PLC en color **rojo**, mientras que el cableado que se refiere a la entrada analógica se muestra en color **azul**.

También se muestra la entrada de la planta a la que se debe conectar cada señal, en el conector "X" de la planta se conecta la entrada analógica del PLC, mientras en el conector "Y" se coloca la salida analógica del PLC.

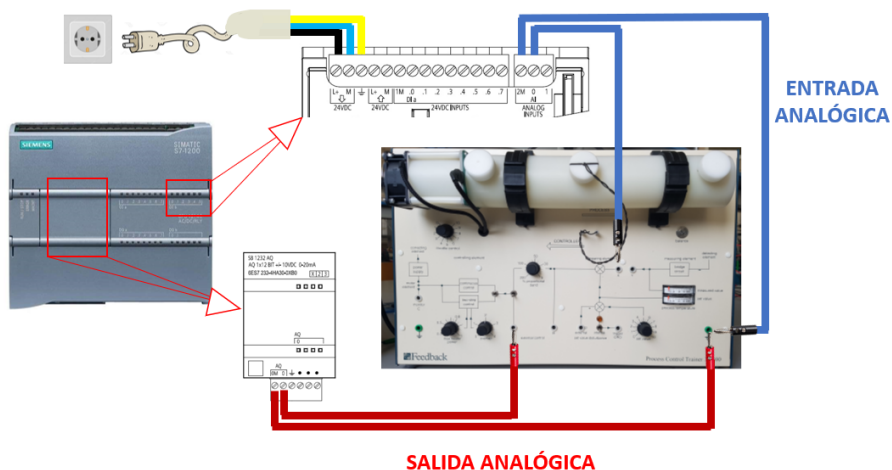


Figura 2.7 Esquema de conexionado del PLC y el soplador.

### 2.2.1 Esquema

En esta sección se describe un esquema general en la que los dispositivos requeridos para el desarrollo de este TFM se comunican entre sí, además de la alimentación que requiere cada uno de ellos, este esquema se muestra en la Figura 2.8. El PLC y el HMI usan un protocolo de comunicación PROFINET vía Ethernet Industrial simbolizada con el color verde y se enlazan a un switch encargado de permitir la comunicación de un PC con estos elementos.

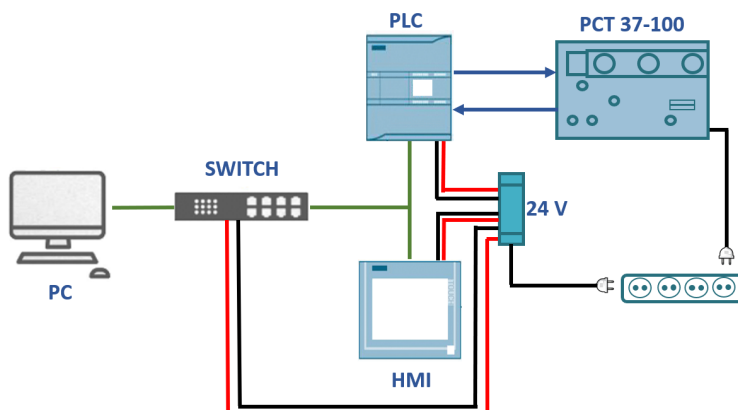


Figura 2.8 Esquema de conexión del sistema.

El color **negro** simboliza la conexión a la red eléctrica de la que se alimentan la planta de temperatura PCT 37-100 y la fuente de alimentación de 24 V dedicada a alimentar al

PLC, HMI y switch cuyo cableado se simboliza en colores **rojo** y **negro**.

Finalmente la Figura 2.9 se muestra una imagen del montaje y conexionado del sistema por completo, en la imagen se aprecia todos los elementos que componen el sistema PLC, PCT 37-100, HMI, fuente de alimentación y el switch, además el sistema se encuentra montado sobre un soporte que permite una mejor organización visual y además facilita en gran medida realizar las conexiones y verificar las mismas, algo primordial para el correcto desempeño y funcionamiento de todo el proyecto.



**Figura 2.9** Visualización del sistema real.

## 2.3 Función de cada dispositivo en la aplicación

Este apartado indica de manera general cual es el papel que va a desempeñar cada uno de los dispositivos dentro del sistema, es decir la función del PLC, el HMI, el PCT 37-100 y el Switch.

- **PLC**

Éste dispositivo se encarga de adquirir la señal de tensión que proporciona el sensor de temperatura del PCT, realiza una normalización de la señal y posteriormente un escalado para transformarlo a un sistema de medida en este caso grados centígrados, posteriormente toma esa señal y realiza un control de temperatura sobre la planta a través de la salida analógica que posee, permitiendo al usuario no solo monitorizar si no también regular la temperatura a su propia conveniencia.

- **HMI**

El panel permite la monitorización de la señal de temperatura en tiempo real, además, permite la posibilidad de que un usuario dependiendo de su nivel de cargo pueda modificar o no, esta variable.

- **PCT 37-100**

El PCT simula de manera adecuada un sistema de temperatura, al que se puede



introducir perturbaciones lo que resulta muy conveniente ya que se logra simular situaciones reales en las que no necesariamente se cuenta con un ambiente controlado.

- **Switch**

Este Switch permite la comunicación e interacción de todos los dispositivos en tiempo real, es decir hace las veces de enlace entre todos los dispositivos con tiempos de actuación adecuados para el tipo de aplicación que se lo usa.



## 3 Software

---

Este capítulo describe el software Tia Portal, el mismo que es proporcionado por Siemens como la llave para liberar todo el potencial de “Totally Integrated Automation”.

Este software optimiza los procedimientos de operación de dispositivos, procesamiento y planificación para los que fueron concebidos, proporcionando una herramienta que facilita el uso gracias a que posee una interfaz de usuario versátil y completa para las diferentes aplicaciones que se puede generar con los equipos de la misma compañía. Se realiza una descripción de la plataforma, el lenguaje que usa, funciones propias y configuraciones necesarias para el desarrollo del proyecto.

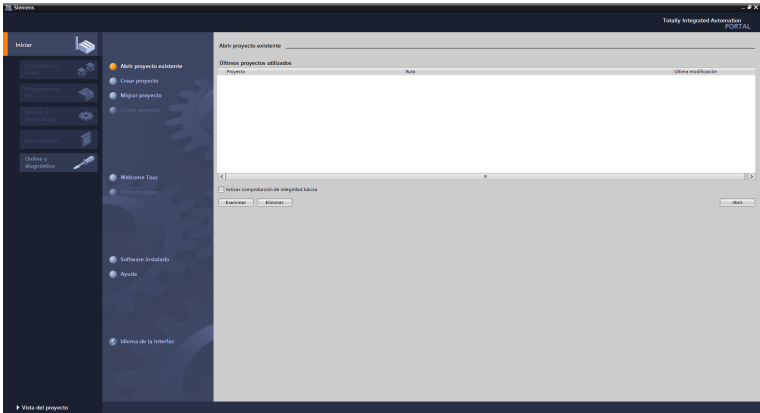
### 3.1 Interfaz

Cuando se inicia el programa Tia Portal, el usuario se encuentra con una pantalla inicial tal y como se muestra en la Figura 3.1. En esta pantalla el usuario tiene la posibilidad de crear un proyecto nuevo, abrir un proyecto existente o migrar un proyecto.

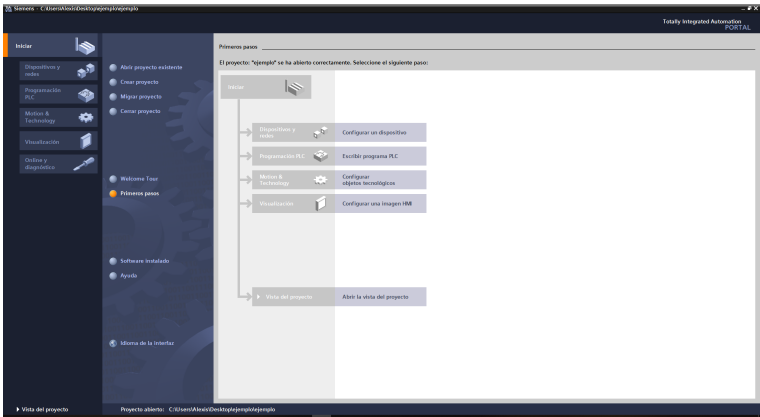
La opción “Welcome Tour” abre el navegador de la PC y nos dirige a la página oficial de Siemens donde hay información y tutoriales del software con diferentes ejemplos, herramienta muy útil para usuarios novatos en el uso de la plataforma. La opción “Software Instalado” proporciona información acerca de la versión y licencia con la que cuenta el PC sobre el que se desarrolla el proyecto. “Ayuda” despliega un buscador donde se encuentra información específica sobre todas las funciones y herramientas con las que cuenta el programa.

Finalmente la opción “Idioma de la interfaz” permite la posibilidad de cambiar el idioma del idioma del software a conveniencia del usuario.

Al elegir la opción de “Abrir proyecto” o “Crear proyecto” se desplegará la pantalla que se muestra en la Figura 3.2, esta pantalla ofrece una visión general de la estructura del proyecto, con opciones de configuración de los dispositivos, la programación del PLC y la creación de un HMI, esta vista no se mostrará nuevamente en el proyecto y será reemplazada por una sección denominada “Árbol del Proyecto” que es un área de trabajo de la interfaz.



**Figura 3.1** Pantalla inicial Tia Portal.



**Figura 3.2** Pantalla del portal de Tia Portal.

**3.1.1    Áreas de la Interfaz**

En este apartado se describe cada una de las áreas que posee la interfaz gráfica, se explica a grandes rasgos su contenido y herramientas. La Figura 3.3 muestra la pantalla de la interfaz cuando agregamos un nuevo dispositivo sin determinar específicamente un PLC, aunque la interfaz cuenta con áreas típicas de como por ejemplo la barra de herramientas, a continuación se detallan las más relevantes.

**1.   Árbol del Proyecto**

Esta área hace las veces de un navegador donde se encuentran todos los elementos que tiene el proyecto, sus opciones particulares como por el ejemplo en el caso de un PLC se encuentra objetos programables, dispositivos tecnológicos, tablas de variables, etc. En esta sección se gestiona todo el contenido del programa.

## 2. Área de Trabajo

El área de trabajo de la interfaz es donde se despliega el contenido seleccionado en el árbol del proyecto, dependiendo de lo que sea es posible configurar un nuevo dispositivo, realizar la programación, configurar objetos, visualizar tablas de variables, etc. Es donde realizaremos el contenido del programa.

## 3. Área de Configuraciones

Sin tener una denominación específica, esta área varía dependiendo de la acción que se esté llevando a cabo, aunque en ella siempre se visualizará las opciones o diferentes configuraciones que se puede dar al dispositivo, objeto tecnológico, bloque de programación, etc. Área de suma importancia configurar de manera correcta para un buen funcionamiento de todo el programa.

## 4. Área de Funciones específicas ó Herramientas

Esta área tampoco lleva una denominación específica, en ella si visualiza las opciones que permite el objeto desplegado en el Área principal, por ejemplo al momento de programar en ella aparecerá las herramientas con las que se cuenta para el desarrollo del bloque o como se muestra en la Figura 3.3 que pertenece a la configuración de un dispositivo nuevo, proporciona una visión del catálogo disponible de Siemens.

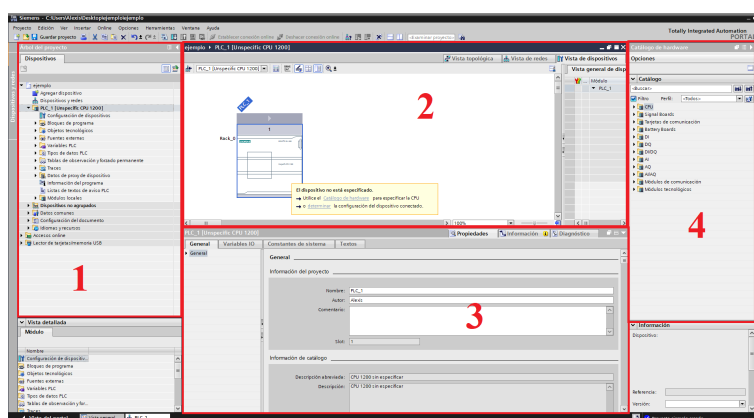


Figura 3.3 Áreas de la interfaz Tia Portal.

### 3.1.2 Lenguaje de Programación

La interfaz Tia Portal ofrece la posibilidad de usar 3 diferentes tipos de lenguaje de programación.

- **KOP**

También denominado lenguaje de contactos, contactores o ladder. Se refiere al tipo de programación de autómatas más primitiva si se lo podría llamar de alguna manera, es una programación basada en la apertura y cierre de contactos encargados de controlar variables internas o externas.

- **FUP**

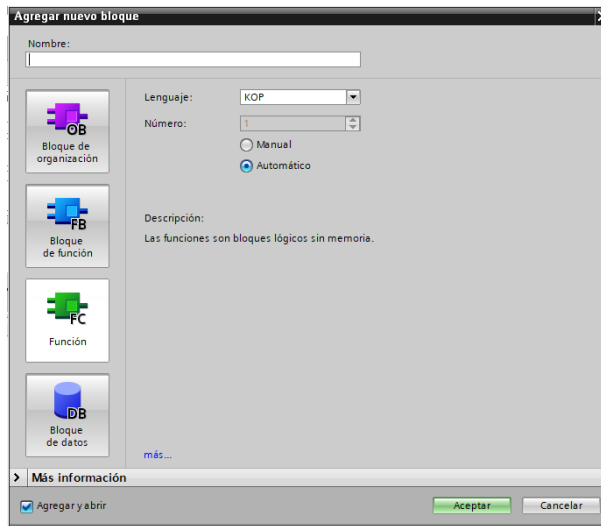
Basado en bloques lógicos, se basa en realizar funciones que pueden ser llamadas desde el main principal. Una gran opción al momento de realizar grandes proyectos ya que a diferencia del ladder permite realizar una jerarquía haciendo uso de un programa principal y llamando funciones solo cuando requiere de estas.

- **SCL**

Lenguaje de programación de alto nivel, se lo puede usar en bloques específicos y permite un mayor campo de acción. Puede llegar a ser un poco tedioso sin embargo, para alumnos especializados en programación en lenguaje C llega a ser muy familiar ya que usa una lógica muy similar.

### 3.1.3 Bloques de Programa

Una vez añadido el autómatas lo que sigue es la programación, para ello se debe tener claro como se programa un PLC, en el área de interfaz “Árbol del proyecto” que se detalla en la sección 3.1.1, muestra el dispositivo PLC donde se encuentra la carpeta denominada “Bloques de programa”, es aquí donde se añade toda la programación que el proyecto necesite.



**Figura 3.4** Bloques de Programación.

Existen diferentes tipos de bloques de programación:

- **Bloques de Organización(OB)**

Son bloques que se ejecutan de manera cíclica, son los principales pensados para llamar a los otros bloques cuando el programa así lo requiera.

- **Bloques de Función(FB)**

Son bloques lógicos que depositan su valor de forma permanente en un bloque

denominado de instancia y permiten el uso de la función en otro bloque de instancia diferente.

- **Funciones(FC)**

Son bloques lógicos pero a diferencia de los bloques de función estos no poseen una memoria.

- **Bloques de Datos(DB)**

Dedicados a el almacenamiento de datos del programa.

La figura Figura 3.4 muestra los 4 diferentes tipos de bloques de programación con los que cuenta el programa Tia Portal y los iconos que los representan.

### Objetos Tecnológicos

Siemens con la intención de facilitar el uso de las funciones tecnológicas que puede utilizar uno de los controladores SIMATIC introdujo lo que se conoce como bloques tecnológicos a su entorno de programación. Estos objetos contienen las funciones disponibles y suponen un acceso sencillo para el usuario.

Particularmente estos objetos tecnológicos se usan en lo relacionado a control de movimientos simplificando su manejo y control de los ejes y funcionalidades adicionales[3]. A continuación se detalla el procedimiento a seguir para añadir un objeto tecnológico.

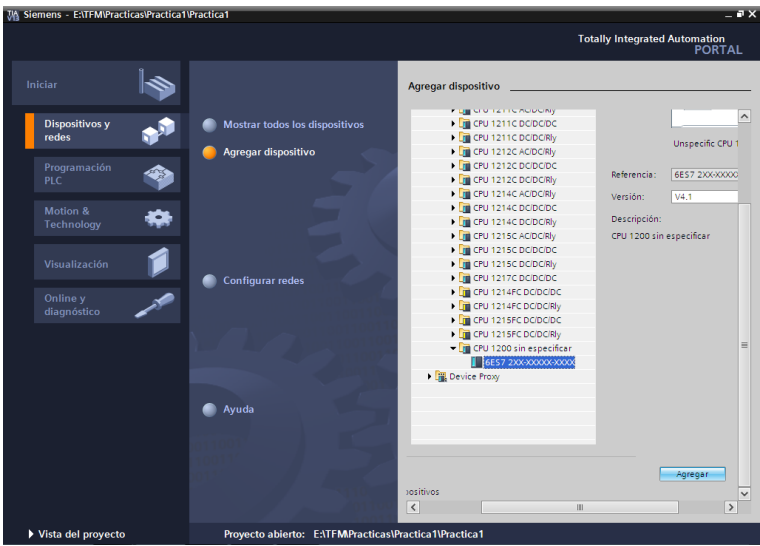
1. Abra la carpeta de la CPU en el árbol del proyecto.
2. Abra la carpeta "Objetos tecnológicos".
3. Haga doble clic en "Agregar objeto". Se abre el cuadro de diálogo "Agregar objeto".
4. Haga clic en el botón "Regulador PID". Se muestran todos los reguladores PID disponibles para esta CPU.
5. Seleccione la instrucción para el objeto tecnológico, p. ej., PID\_ Compact.
6. En el campo de entrada "Nombre", introduzca un nombre personalizado para el objeto tecnológico.
7. Seleccione la opción "manual" si desea modificar el número de bloque de datos propuesto para el DB de instancia.
8. Haga clic en "Más información" para guardar información propia sobre el objeto tecnológico.
9. Confirme con "OK"[3].

## 3.2 PLC

En esta sección se describe conocimientos básicos requeridos para el desarrollo del proyecto, el lenguaje de programación, una breve explicación de lo que son los bloques de programación e instrucciones específicas utilizadas en el desarrollo de este proyecto.

El primer paso para la elaboración de un proyecto consiste en agregar los dispositivos con los que se va a desarrollar, comenzando por el PLC. Al seleccionar la opción “Agregar dispositivo” de la Figura 3.2 se genera una pantalla como la que se muestra en la Figura 3.5, para añadir el PLC se cuenta con 2 opciones, la primera consiste en añadir el modelo exacto y la segunda hacer que el propio programa busque y determine el modelo del dispositivo que se encuentra conectado.

En el desarrollo de este trabajo se optó por la primera debido a que se ahorra el paso de determinar la “signal board” que contiene el dispositivo del laboratorio, paso que habría que realizar si se opta por la primera opción.



**Figura 3.5** Agregar Dispositivo PLC.

**3.2.1 Normalizado**

La instrucción “Normalizar” normaliza el valor de la variable de la entrada “VALUE” representándolo en una escala lineal. Los parámetros “MIN” y “MAX” sirven para definir los límites de un rango de valores que se refleja en la escala.

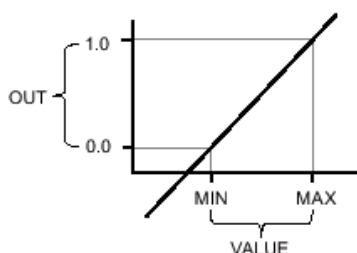
En función de la posición del valor que se debe normalizar en este rango de valores, el resultado se calcula y se deposita como número en coma flotante en la salida “RET\_ VAL”. Si el valor que se debe normalizar es igual al valor de la entrada “MIN”, la salida “OUT” devuelve el valor “0.0”. Si el valor que se debe normalizar es igual al de la entrada “MAX”, la salida OUT devuelve el valor “1.0”[1].

La Figura 3.6 muestra un ejemplo de cómo pueden normalizarse los valores:

La instrucción "Normalizar" utiliza la siguiente ecuación:

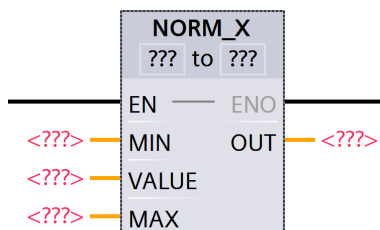
$$OUT = \frac{VALUE - MIN}{MAX - MIN} \tag{3.1}$$





**Figura 3.6** Curva de la instrucción normalizar.

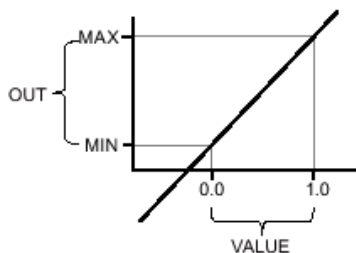
La Figura 3.7 muestra el bloque de normalizado en el programa Tia Portal, allí se aprecia con claridad las entradas y salidas, además, en el parte superior se observa la conversión de unidades que realiza.



**Figura 3.7** Bloque de instrucción normalizado.

### 3.2.2 Escalado

La instrucción “Escalar” escala el valor de la entrada “VALUE” mapeándolo en un determinado rango de valores. Al ejecutar la instrucción “Escalar”, el número en coma flotante de la entrada “VALUE” se escala al rango de valores definido por los parámetros “MIN” y “MAX”.



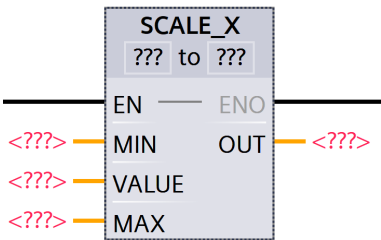
**Figura 3.8** Curva de la instrucción escalar.

El resultado de la escala es un número entero que se deposita en la salida RET\_ VAL[1]. La figura Figura 3.8 muestra un ejemplo de cómo pueden escalarse los valores:

La instrucción "Escalar" utiliza la siguiente ecuación:

$$OUT = (VALUE \cdot (MAX - MIN)) + MIN \tag{3.2}$$

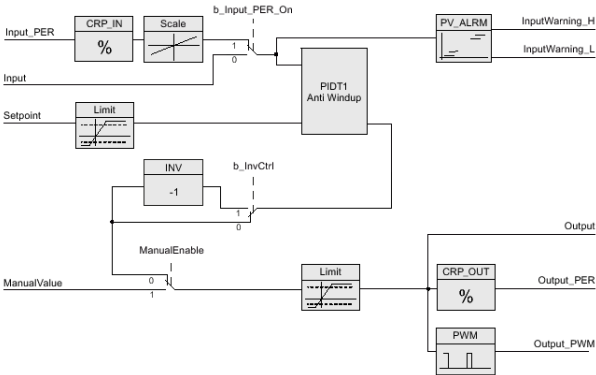
La Figura 3.9 muestra el bloque de escalado en el programa Tia Portal, allí se aprecia con claridad las entradas y salidas, además, bajo el nombre de la instrucción se encuentra las opciones de la conversión de unidades que realiza.



**Figura 3.9** Bloque de instrucción escalar.

**3.2.3    PID Compact**

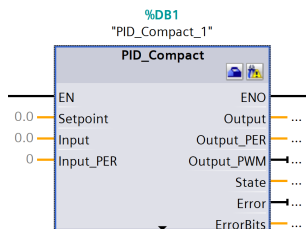
“La instrucción PID\_ Compact ofrece un regulador PID con optimización integrada para actuadores de acción proporcional”[1], el diagrama de bloques de lo representa se muestra en la Figura 3.10.



**Figura 3.10** Diagrama de bloques de PID.

A pesar de que la definición se refiere al PID\_ Compact como una instrucción es una definición un tanto ambigua debido a que para su aplicación en primer lugar es necesario establecer una configuración inicial del mismo como un objeto tecnológico, tema que se trata en la sección 3.2.3.

El controlador se simboliza con un bloque de instrucción tal y como se muestra en la Figura 3.11. Las tablas 3.1 y 3.2 muestran el nombre de los parámetros de entrada y salida del bloque PID, además, en ellas se hace una pequeña descripción de lo que se refiere cada uno de los parámetros.



**Figura 3.11** Bloque de PID Compact.

**Tabla 3.1** Tabla de entradas del bloque PID.

Parámetro	Tipo de datos	Descripción
Setpoint	REAL	Consigna del regulador PID en modo automático
Input	REAL	Variable interna del programa, se usa como origen del valor real
Input_ PER	INT	Entrada analógica se usa como origen del valor real

**Tabla 3.2** Tabla de salidas del bloque PID.

Parámetro	Tipo de datos	Ajuste predeterminado	Descripción
Output	REAL	0.0	Valor de la salida en formato REAL
Output_ PER	INT	0	Valor de salida analógico
Output_ PWM	BOOL	FALSE	Entrada analógica se usa como origen del valor real
State	INT	0	Indica el modo de operación actual del regulador PID.
Error	BOOL	FALSE	Si Error es verdadero existe al menos un mensaje de error en el ciclo actual
ErrorBits	DWORD	DW# 16# 0	Muestra que mensajes de error existen.

El algoritmo que usa el controlador se describe a través de la ecuación 3.3, en la que se toma en cuenta todas las variables que intervienen en el controlador y que son descritas

en la tabla 3.3.

$$y = K_p \left( (b \cdot w - x) + \frac{1}{T_i \cdot s} (w - x) + \frac{T_D \cdot s}{a \cdot T_D \cdot s + 1} (c \cdot w - x) \right) \tag{3.3}$$

donde:

**Tabla 3.3** Tabla de símbolos del algoritmo PID.

Símbolo	Descripción
y	Valor de salida del algoritmo PID
$K_p$	Ganancia proporcional
s	Operador laplaciano
b	Ponderación de la acción P
w	Consigna
x	Valor real
$T_i$	Tiempo de Integración
$T_D$	Tiempo derivativo
a	Coficiente para el retardo de la acción derivada
c	Ponderación de la acción D

**Tiempo de Muestreo**

“Dado que el sistema regulado necesita cierto tiempo para responder a un cambio del valor de salida, no es razonable calcular este valor en cada ciclo. El tiempo de muestreo del algoritmo PID 3.3 es el tiempo entre dos cálculos del valor de salida. Este se determina durante la optimización y se redondea a un múltiplo del tiempo de ciclo. Todas las demás funciones de PID\_Compact se ejecutan con cada llamada”[1].

**Tipos de Operación**

El controlador posee diferentes tipos de operación, los mismos que se detallan a continuación:

- **Inactivo**  
El valor de salida emitido siempre será 0.0, independientemente de la configuración, la modulación del ancho de pulso está desactivada.
- **Optimización Inicial**  
Este modo de operación determina el comportamiento del proceso a un escalón del valor de salida y busca el punto de inflexión. Si se realiza de manera correcta se pasa al modo automático.
- **Optimización Fina**  
Este modo de operación se encarga de generar una oscilación constante y limitada del valor real, entonces, a partir de la amplitud y frecuencia de esta oscilación se calcula los nuevos parámetros PID. Es recomendable realizar una optimización fina luego de haber realizado una optimización inicial ya que el comportamiento ante fallos en su mayoría es mucho mejor.

- **Modo Automático**

El PID Compact controla el sistema regulado conforme a parámetros predefinidos, aunque la instrucción entra en este modo luego de haber realizado exitosamente los modos optimización inicial o optimización fina. Cabe destacar que el cambio de modo automático a manual se realiza sin ninguna discontinuidad.

- **Modo Manual**

En este modo debe especificarse un valor de salida, y cuando se cambie de este modo a modo automático se puede llegar a producir un error de pendiente.

“Todos los parámetros PID son remanentes. Si introduce manualmente los parámetros PID, debe cargar PID\_ Compact por completo”[2].

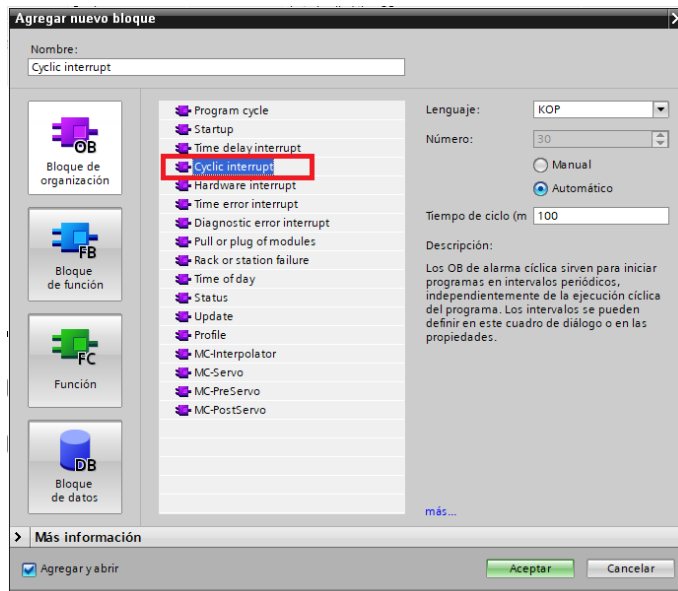
- **Valor de salida sustitutivo con monitorización de errores**

Es un modo de operación muy similar al Inactivo sin embargo este se activa en caso de que el sistema detecte algún error, sin embargo, si el error desaparece el controlador pasa nuevamente a estar en modo automático.

## Llamada

El bloque PID requiere estar dentro de un bloque de alarma cíclica para poder ser llamado por el bloque de operación principal (Main), un bloque de alarma cíclica es una sub categoría de los bloques de operación el cuál se crea añadiendo un nuevo bloque de operación y eligiendo la opción “Cíclic Interrup” tal y como lo muestra la Figura 3.12.

“Los PID\_Compact se deben parametrizar directamente en el DB multiinstancia y ponerse en servicio a través de una tabla de observación”[2].



**Figura 3.12** Creación del bloque de operación cíclico.

Configuraciones Básicas

Para la aplicación de la instrucción PID\_Compact es necesario establecer configuraciones iniciales, las mismas que se establecen cuando se realiza la creación de un objeto tecnológico.

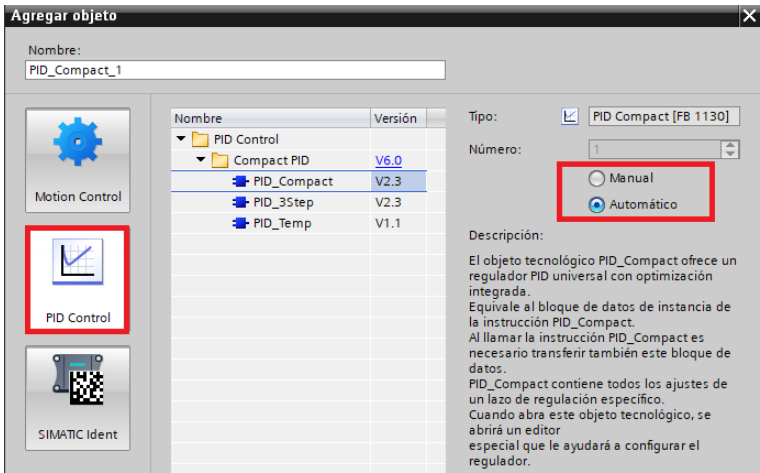


Figura 3.13    Pantalla de creación de objeto tecnológico.

Esto se lo realiza desde el área “árbol de proyecto” 3.1.1, exactamente dentro del PLC en la carpeta “Objetos tecnológicos”, al hacer esto se desplegará la pantalla que muestra la Figura 3.13, en la que se resalta la opción “PID Control”, aquí se puede configurar el nombre, el tipo de PID y el modo de operación.

Al crear el objeto se despliega una pantalla como la de la Figura 3.14, y si nos fijamos en el área principal 3.1.1, se aprecia las posibilidades de configuraciones de configuraciones iniciales que posee el PID.

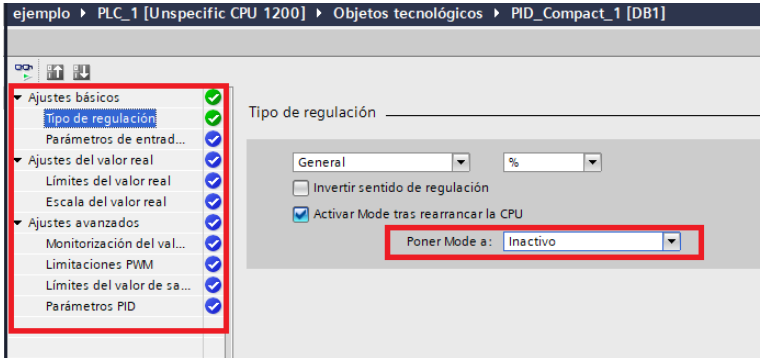


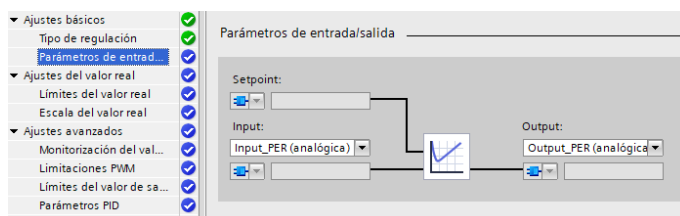
Figura 3.14    Pantalla de configuraciones iniciales.

Cabe recordar que al momento de la creación del objeto tecnológico Figura 3.13 permite elegir entre 2 tipos de modos de operación “Manual” y “Automático”, sin embargo, en la pantalla de la Figura 3.14 en la sección “Poner a Mode” nos permite elegir entre todos los tipos de operación mencionados en la sección 3.2.3.

A continuación se describe las opciones de configuraciones con las que cuenta el objeto tecnológico PID\_ Compact:

### • Entradas y Salidas

La Figura 3.15 muestra el área principal 3.1.1 seleccionando la opción de “Parámetros de entrada y salida”, donde se tiene la opción de escribir las variables que representan los parámetros de “Setpoint”, “Input” y “Output”, parámetros que se detallan en las tablas 3.1 y 3.2.

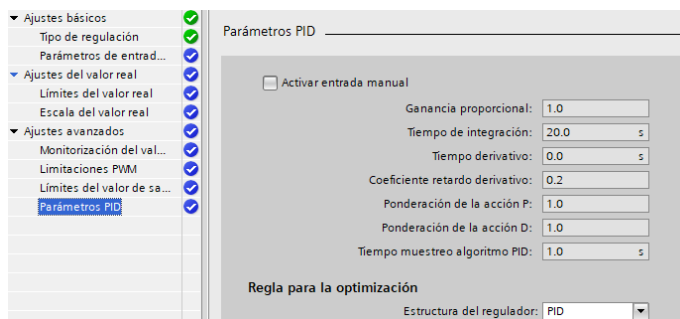


**Figura 3.15** Pantalla de configuraciones de entradas y salidas del PID.

Nota: Si utiliza el parámetro “Input”, debe cumplirse lo siguiente: Config.InputPerOn = FALSE. Si utiliza el parámetro Input\_PER, debe cumplirse lo siguiente: Config.InputPerOn = TRUE.

### • Parámetros del PID

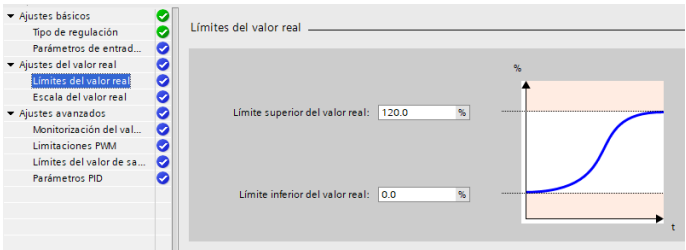
Al contar con un modo de operación “Manual” 3.2.3 es posible establecer los parámetros iniciales del controlador, la Figura 3.16 muestra la opción “Parámetros PID” que permite la posibilidad de establecer valores iniciales para todas las variables que intervienen en el proceso de control.



**Figura 3.16** Pantalla de configuraciones de parámetros iniciales del PID.

• **Configuraciones de la Medida**

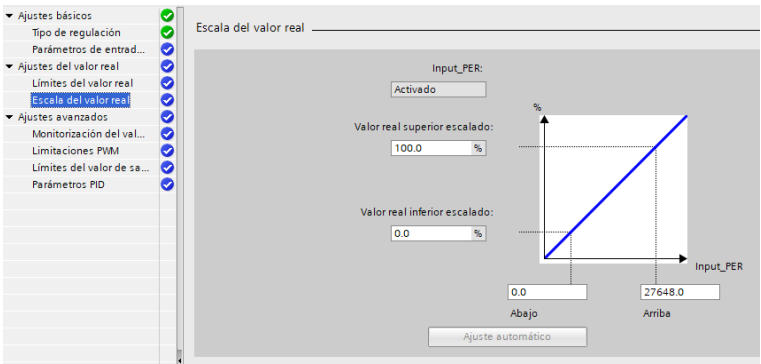
En este apartado se describen los ajustes iniciales del valor real, que el PID va a controlar, comenzando por los límites que se pueden establecer a este valor apartado importante para establecer el rango de acción que tendrá el controlador todo esto en porcentajes, si el valor sale de estos límites el programa emitirá una alarma de error, la Figura 3.17 muestra la pantalla de configuración mencionada.



**Figura 3.17** Pantalla de configuraciones de los límites del valor real del PID.

Nota: “PID\_Compact está preajustado de manera que, en caso de error, la regulación permanece activa en la mayoría de los casos. Si en el modo de regulación se producen errores con frecuencia, este ajuste empeorará el comportamiento de regulación”[2].

La segunda opción de configuración se refiere a la escala del valor, aunque en este trabajo ya nos referimos a una instrucción dedicada a esta operación 3.2.2 el controlador cuenta con un escado inicial que puede o no ser utilizado por el usuario. La Figura 3.18 muestra la pantalla de configuración de este apartado, en ella se precia como nos permite establecer valores máximos y mínimos de la entrada como así también de su nuevo equivalente.



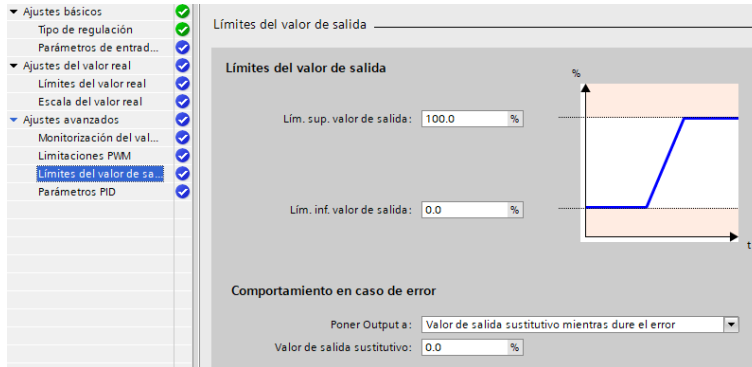
**Figura 3.18** Pantalla de configuraciones de la escala del valor real de entrada del PID.

• **Configuraciones de la Actuación**

Este apartado está dedicado a describir la configuración de los límites de la señal



de salida del PID, la Figura 3.19 hace referencia a la pantalla que aparece cuando seleccionamos la opción “Límites del valor de salida”.



**Figura 3.19** Pantalla de configuraciones de los límites de valor de salida del PID.

Es posible establecer los valores de los límites superior e inferior de la variable de salida, todo esto en porcentaje, además, nos permite elegir la acción que el controlador realiza al detectar un error, las opciones son:

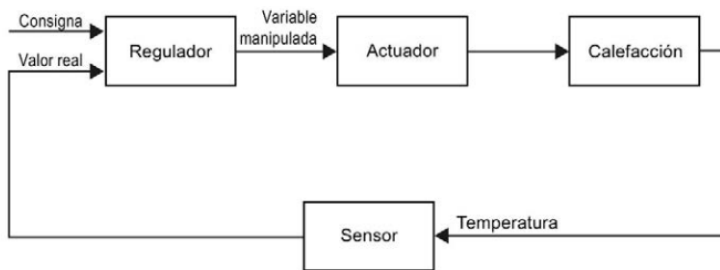
- Inactivo  
Este modo simplemente desactiva toda posible acción del controlador, esto se produce cuando se deshabilita la señal de salida.
- Valor actual mientras dure el error  
El controlador sigue emitiendo el último valor que tenía la salida antes de la detección del error, sin embargo este modo puede llegar a ser riesgoso debido a que el controlador pudo guardar su valor máximo, es decir siempre enviaría su límite esta acción en ciertos equipos puede llegar a ser perjudicial para su vida útil e incluso puede llegar a producir un daño severo.
- Valor de salida sustituto mientras dure el error  
Esta opción permite establecer un porcentaje de la señal de salida cuando se detecta un error, podría colocarse un valor medio que trate de estabilizar el sistema.

#### • Sentido de regulación

Por lo general, un aumento del valor de salida debe lograr un aumento del valor real. En este caso, se habla de un sentido de regulación normal. Para refrigeración o para las regulaciones de desagües puede ser necesario invertir el sentido de regulación. “PID\_Compact” no funciona con ganancia proporcional negativa. Si `InvertControl = TRUE`, un error de regulación ascendente provocará una reducción del valor de salida. El sentido de regulación se tiene en cuenta también durante la optimización inicial y la optimización fina[2].

### Sintonización del PID

La sintonización de un lazo de regulación de temperatura ambiente mediante calefacción. La temperatura de la planta se mide con un sensor de temperatura y se transmite al regulador, este compara la temperatura actual con una consigna y calcula un valor de salida(variable manipulada) y controla la calefacción[2]. La Figura 3.20 muestra el diagrama de bloques descrito anteriormente.



**Figura 3.20** Diagrama de bloques de la sintonización de un sistema de temperatura [2].

Un regulador PID ajustado correctamente alcanza la consigna lo más rápido posible y luego la mantiene constante. Tras un cambio del valor de salida el valor real suele cambiar de forma retardada. Este comportamiento debe compensarse con el regulador[2].

El elemento final de control es un componente del lazo de regulación, influenciado directamente por el regulador, modificando de esta manera un flujo másico y energético.

La sintonización o puesta en marcha del “PID\_Compact” determina el comportamiento del proceso a un escalón del valor de salida y busca el punto de inflexión. Los parámetros PID óptimos se calculan a partir de la pendiente máxima y el tiempo muerto del sistema regulado. Para obtener los mejores parámetros PID, debe efectuarse una optimización inicial y una final.

Cuanto más estable es el valor real, con mayor facilidad y precisión se pueden calcular los parámetros PID. Un ruido del valor real es aceptable siempre que la subida del valor real sea considerablemente mayor que el ruido. Esto tiene más probabilidades de suceder en los modos "Inactivo" o "Manual". Es preciso realizar una copia de seguridad de los parámetros PID antes de volver a calcularlos.

A continuación se presenta una lista de requisitos necesarios para la implementación de la instrucción PID\_Compact:

- La instrucción “PID\_Compact” se llama en un OB de alarma cíclica.
- ManualEnable = FALSE
- Reset = FALSE
- “PID\_Compact” se encuentra en el modo de operación "Modo manual", “Inactivo” o “Modo automático”.
- La consigna y el real se encuentran dentro de los límites configurados.

- La diferencia entre la consigna y el valor real es mayor del 30 % de la diferencia entre el límite superior e inferior del valor real.
- La diferencia entre la consigna y el valor real es superior al 50 % de la consigna.

### 3.3 HMI

El tipo de programación de una pantalla SIMATIC HMI es muy diferente si la comparamos con el un PLC, ya que no se usa un lenguaje como tal, es más una configuración de diferentes elementos, cada uno posee características en específico, así también su configuración varía, una explicación más amplia acerca de estos elementos se dará en las siguientes secciones.

Al igual que en la sección 3.2 se debe añadir el dispositivo, por lo que en el área de árbol de proyecto se añade un nuevo dispositivo HMI la Figura 3.21 muestra la pantalla que aparecerá cuando seleccionemos esta opción, en la misma y a diferencia de lo que pasaba con el PLC donde se tenía la opción de detectar de manera automática el dispositivo, aquí se debe conocer el modelo específico del panel.

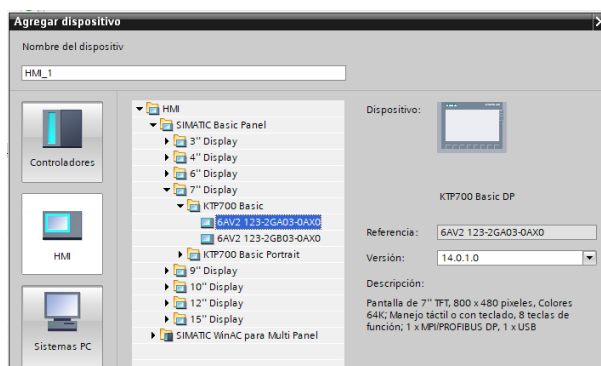


Figura 3.21 Agregar Dispositivo HMI.

#### Configuraciones Iniciales

Esta sección describe las diferentes opciones que ofrece la interfaz del programa Tia Portal al momento de añadir un nuevo dispositivo HMI.

Al crear el objeto se despliega la pantalla mostrada en la Figura 3.22, en donde se realiza la configuración inicial del panel por medio de una especie de asistente que ofrece un entorno mucho más amigable para el usuario, a continuación se describen sus diferentes opciones:

#### • Conexiones de PLC

Esta primera sección establece la conexión de la pantalla con el PLC, la misma que se realiza a través de un cable Ethernet haciendo uso de un protocolo de comunicación PROFINET. Esta pantalla se muestra en la Figura 3.22.

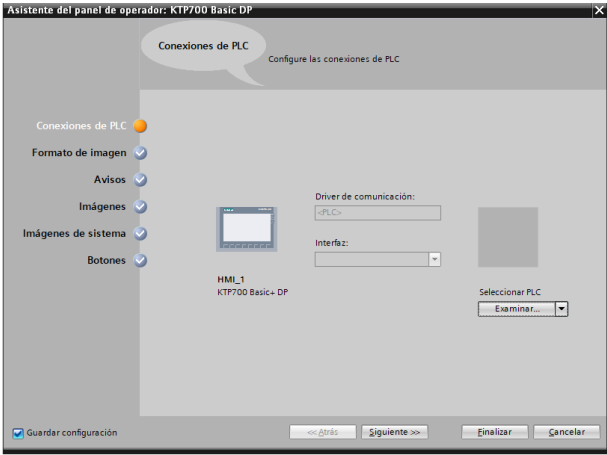


Figura 3.22 Pantalla de configuración inicial del HMI.

• **Formato de imagen**

Esta opción nos permite elegir el color de fondo que tendrá el HMI durante su ejecución, además podemos elegir entre agregar o no fecha/hora y si se desea el incorporar el logotipo de la compañía. La pantalla a la que se hace referencia se muestra en la Figura 3.23.

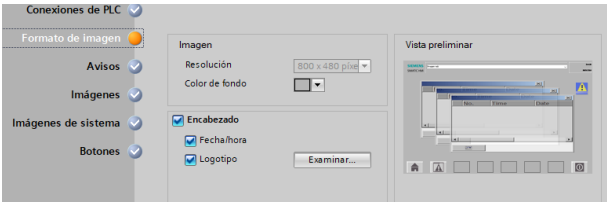


Figura 3.23 Pantalla de configuración del formato de imagen del HMI.

• **Avisos**

La pantalla de la Figura 3.24 nos permite elegir entre visualizar o no pantallas emergentes de sub sistemas que se estén ejecutando dentro del programa principal, como por ejemplo alarmas.

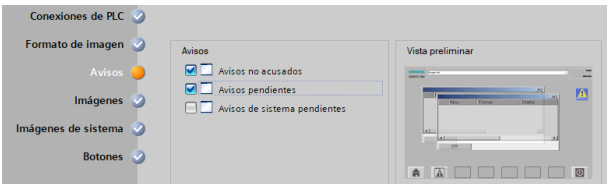
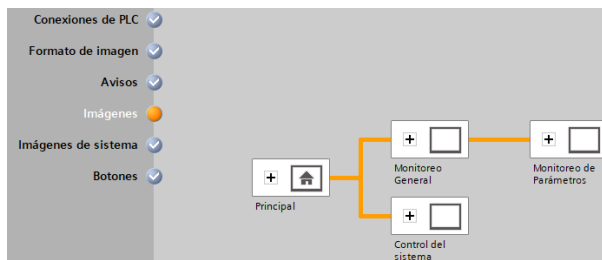


Figura 3.24 Pantalla de configuración de avisos del HMI.

### • Imágenes

La pantalla de la Figura 3.26 resulta ser de mucha utilidad siempre y cuando el usuario tenga bien denotado la jerarquía que llevará su HMI.

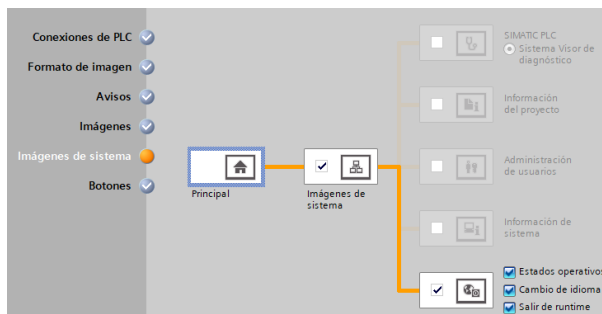


**Figura 3.25** Pantalla de configuración de las imágenes del HMI.

En esta configuración es posible añadir todas las pantallas que el sistema necesita, además es aquí donde se elige una pantalla principal o “Menú raíz”, aunque posteriormente se pueda añadir o quitar estas pantallas este menú de configuración es el más interactivo al ofrecer un esquema de la topología que llevará el sistema.

### • Imágenes del sistema

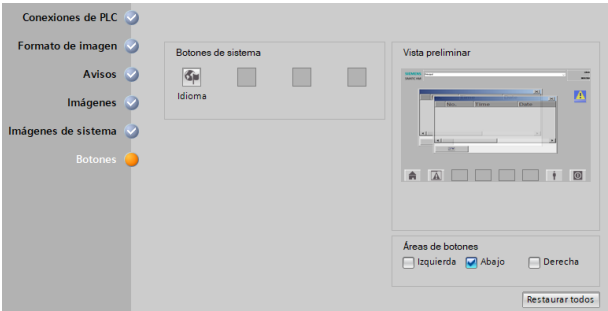
Esta opción de configuración cuya pantalla se muestra en la Figura 3.26, nos permite la creación de pantallas predefinidas como por ejemplo la administración de usuarios donde se establece un nivel de acceso a las diferentes pantallas que posee el sistema HMI.



**Figura 3.26** Pantalla de configuración de las imágenes del HMI.

### • Botones

Esta opción de configuración permite añadir botones por defecto si cabe el término, estos botones permiten accesos directos a funciones específicas del panel, como por ejemplo imagen inicial que nos lleva a la pantalla principal del proyecto, idioma que permite cambiar el idioma del menú del HMI, salir que permite para el ciclo “Runtime” del panel para ingresar a su menú de configuración, la pantalla de la configuración de botones se muestra en la Figura 3.27.



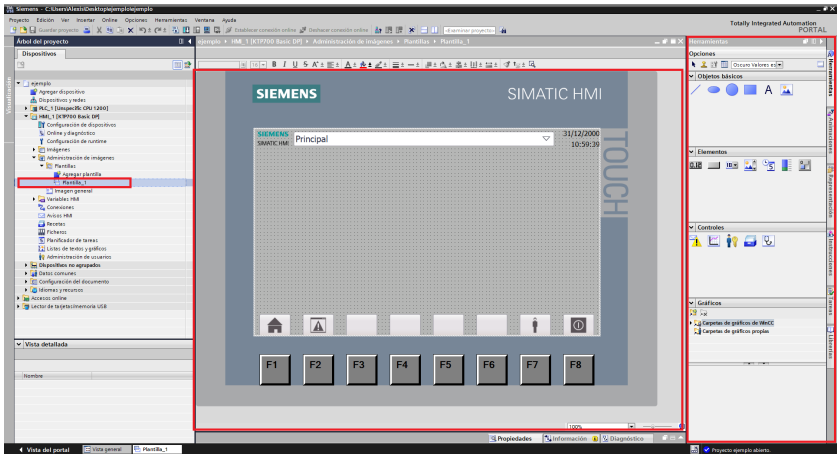
**Figura 3.27** Pantalla de configuración de los botones del HMI.

**3.3.1 Programación**

Aunque se trata de un dispositivo diferente la programación se realiza sobre la misma plataforma por lo que las áreas de trabajo de la interfaz son las mismas que las descritas en la sección 3.1.1.

Al igual que sucedía con la programación del PLC es posible lograr obtener resultados por “fuerza bruta”, pero siempre se recomienda el uso de una bien o mal llamada jerarquía, por lo que el primer paso es fundamental, que consiste en la creación de un plantilla personalizada, que servirá de base para las demás pantallas.

Este paso se realiza dirigiéndonos al área árbol del proyecto 3.1.1, en la sección del HMI, al desplegar la carpeta “administración de imágenes” encontramos las plantillas. La Figura 3.28 muestra la pantalla de una plantilla.



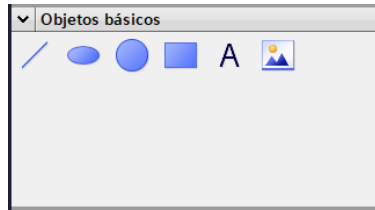
**Figura 3.28** Pantalla de la plantillas del HMI.

En el área de herramientas 3.1.1 se muestran los elementos de trabajo divididos en 4 categorías, dependiendo de la funcionalidad y características del elemento se encuentra en una sección diferente, a continuación se describe cada una de estas secciones con una

breve descripción de los elementos que las conforman, así también se muestran figuras que facilitan su reconocimiento dentro de la Figura 3.28:

- **Objetos Básicos**

En la categoría de objetos básicos encontramos opciones como texto, formas geométricas y un visor de gráficos, estas opciones se caracterizan por ser herramientas de visualización, aunque es posible darles funciones si modificamos sus propiedades, la Figura 3.29 muestra las diferentes opciones de esta categoría.



**Figura 3.29** Categoría de elementos básicos.

- **Elementos**

En esta categoría se encuentran los elementos de control como botones, interruptores y campos de modificación para las entradas/salidas. Es decir se encuentran los objetos con los que el usuario puede interactuar. La figura Figura 3.30 muestra todas las opciones que proporciona el sistema.



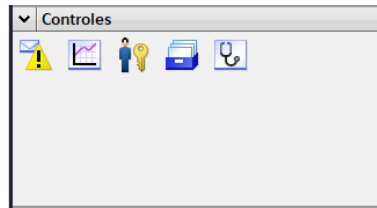
**Figura 3.30** Categoría de elementos.

- **Controles**

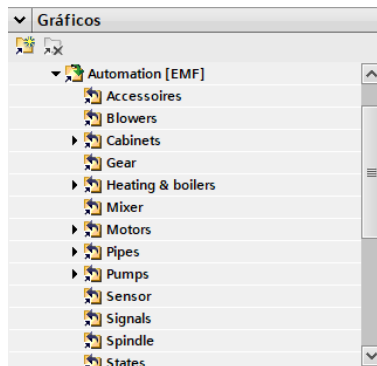
A pesar de que la categoría lleve el nombre de controles se refiere más a objetos de gestión, aquí encontramos herramientas de visualización de curvas, usuarios, avisos, diagnóstico e incluso un navegador HTML, es decir son campos que permiten la monitorización de la aplicación. La Figura 3.31 muestra los diferentes elementos de esta categoría.

- **Gráficos**

Esta sección del área mostrada en la Figura 3.32 presenta diferentes imágenes que pueden ser insertadas en la pantalla, es decir, hace las veces de una base de datos que almacena muchos tipos de gráficos muy útiles al momento de realizar un SCADA.



**Figura 3.31** Categoría de controles.



**Figura 3.32** Categoría de gráficos.

### 3.3.2 Recomendaciones

#### Colores

Cuando se utilizan colores primarios con sus opuestos secundarios se obtiene el llamado “Contraste Complementario”, el cual es útil para destacar y crear impacto pero obligue a forzar el enfoque del ojo creando estrés visual. Si se utilizan colores adyacentes, se obtiene el Contraste de Tonos y se puede dar contrastes mas fuertes con los colores secundarios que los primarios[4].

#### Color de las Pantallas

Similar a la sección 3.3.2, el uso de alto contraste se puede convertir en algo incómodo o casi ilegible. Los colores extremos no deberían aparecer simultáneamente en la pantalla (por ejemplo, rojo y azul). Además, no es conveniente convertir las pantallas en ejercicios de diseño incluyendo más colores de los necesarios ya que resultan poco prácticas[4].

#### Fondo de Pantalla

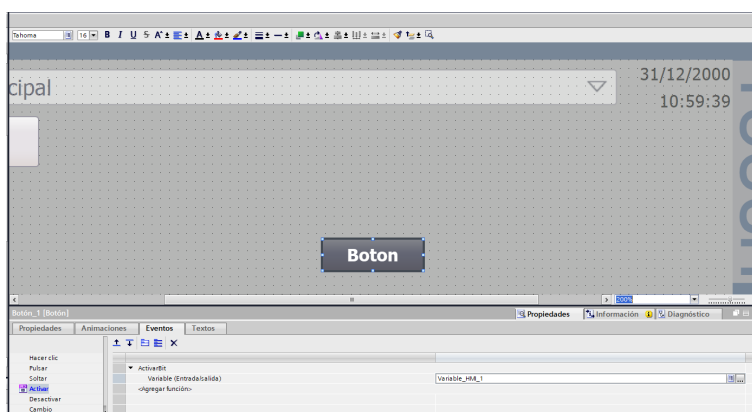
Generalmente se deben usar colores neutros para el fondo (gris, beige, arena, azul). No se debe usar blanco o negro dado que dan resplandor. Y debe contrastar con el resto de elementos. Se puede usar diferentes colores de fondo para diferenciar o agrupar procesos o áreas de la planta[4].



### 3.3.3 Creación de Elementos

Para insertar elementos basta con tomar el elemento del “área de herramientas” hasta el área de trabajo de la pantalla y configurar sus propiedades según los requerimientos del usuario. La Figura 3.33 muestra la pantalla de configuración de un nuevo botón. La pantalla muestra que cuando se presione el botón este activará el bit de la variable “Variable\_HMI\_1”. Dependiendo del elemento que se insertó cambia las opciones dentro de propiedades.

Cada elemento puede ser personalizado al gusto del usuario, permitiendo la opción de cambio de color, texto que muestra, tamaño, variable con la que se enlaza entre muchas otras características.



**Figura 3.33** Categoría de gráficos.

### 3.3.4 Seguridad

El HMI permite establecer quien tiene autorización de realizar ciertas acciones dentro del sistema, esto se lo hace por medio de botones que tenga anexado la característica de “iniciar sesión” cuando se desee acceder como un usuario y “cerrar sesión” que permite finalizar. Estas características se configuran en eventos dentro del área de propiedades.



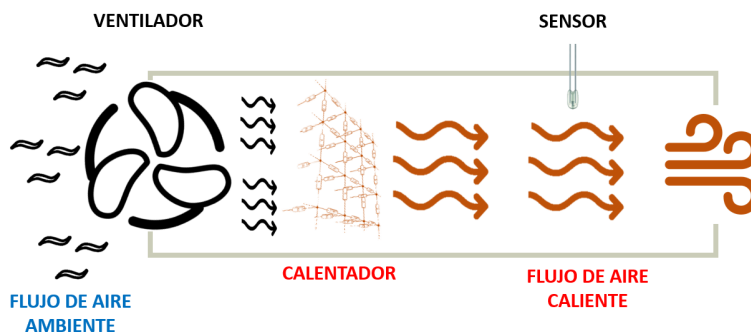
## 4 Desarrollo

---

Este capítulo detalla todo el proceso de elaboración de la aplicación de control de temperatura mediante PLC. Comenzando por la descripción del sistema de temperatura sobre el que desea implementar el control, la configuración de los dispositivos para la elaboración del proyecto, la programación del programa de control, la elaboración de las diferentes pantallas del HMI y el proceso de operación de auto sintonizado.

### 4.1 Sistema de Temperatura

El desarrollo de esta aplicación se llevó a cabo con un sistema de temperatura muy básico, que introduce aire del ambiente a un tubo, hace pasar el caudal a través de un calentador que eleva su temperatura, misma que es medida por un sensor y finalmente el aire es expulsado al exterior. La Figura 4.1 muestra el sistema de la manera más sencilla graficando lo antes mencionado.

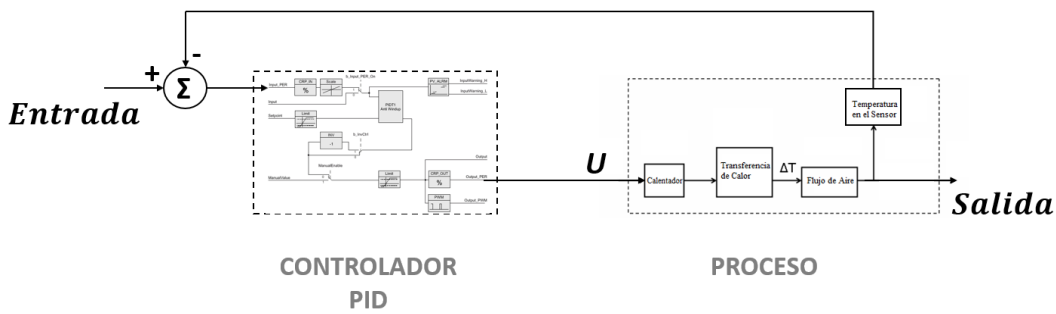


**Figura 4.1** Esquema básico de la planta de temperatura.

La planta PCT 37-100 descrita en la sección 2.1.1 recrea fielmente el sistema de temperatura antes descrito e incluso agrega la posibilidad de introducir perturbaciones a la

planta, ofreciendo mayor versatilidad al momento de poner a prueba la fiabilidad de los elementos de control.

El sistema consiste en un lazo cerrado graficado en la Figura 4.2, donde la planta proporciona una variable de tensión de salida que entra directamente al controlador PID el cuál por medio de su algoritmo de control (ecuación 3.3) genera una señal de tensión que entra al PCT y regula la temperatura de la celda de resistencia encargada de calentar la temperatura del aire dentro del conducto.



**Figura 4.2** Diagrama de bloques de la aplicación.

La tabla 4.1 describe las señales utilizadas en la Figura 4.2.

**Tabla 4.1** Tabla de señales del sistema.

Parámetro	Descripción
Entrada(Setpoint)	Valor de la Consigna
Salida(V_out)	Señal analógica de tensión del sensor de temperatura
U	Señal de Control del PID

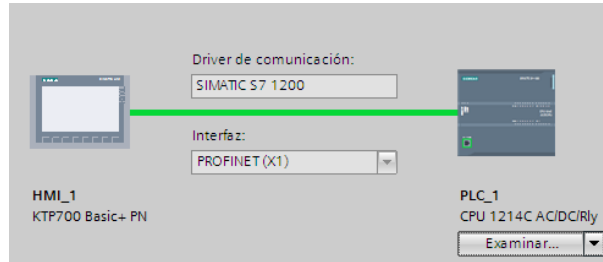
Las conexiones físicas realizadas entre la planta de temperatura PCT 37-100 y el PLC se muestran en la sección 2.2 específicamente en la Figura 2.7.

Una vez realizado el conexionado del sistema se procede a realizar la configuración de los componentes, para eso, arrancamos el programa Tia Portal donde se crea un proyecto nuevo donde se añaden los dispositivos. Al añadir un nuevo dispositivo, se puede acceder al área de propiedades, es aquí donde se realizará todas las configuraciones necesarias.

**4.2 Configuración y conexión de la arquitectura implementada**

A lo largo de las secciones y capítulos anteriores se mencionó que el sistema contará con un PLC y una pantalla HMI, conectados de manera directa a por medio de un cable ethernet que utiliza el protocolo de comunicación PROFINET, la Figura 4.3 muestra la

arquitectura que muestra el programa Tia Portal cuando los 2 dispositivos ya se encuentran enlazados dentro del proyecto.



**Figura 4.3** Arquitectura de conexión entre PLC y HMI.

Ahora cabe mencionar algunos aspectos importantes, para que la comunicación se genere de manera adecuada e necesario que los dispositivos se encuentre dentro de la misma subred, además, hace falta conocer las direcciones IP al momento de establecer la comunicación. Las direcciones IP específicas de los dispositivos con los que se desarrollo el trabajo se muestran en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2** Tabla de señales del sistema.

Dispositivo	Dirección IP
PLC	192.168.1.100
HMI	192.168.1.120

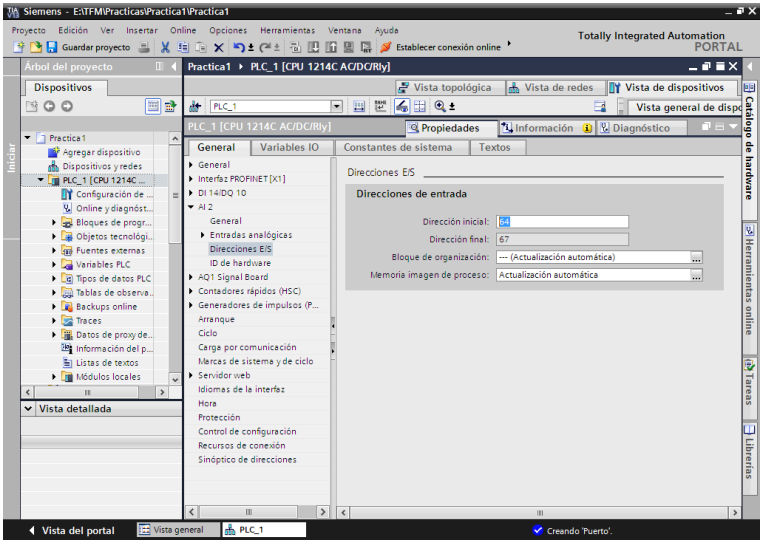
## 4.3 Configuración PLC

La aplicación desarrollada hace uso de la entrada y salida analógica del PLC, por lo que para su configuración inicial se configuró las direcciones de estas variables a través del siguiente procedimiento.

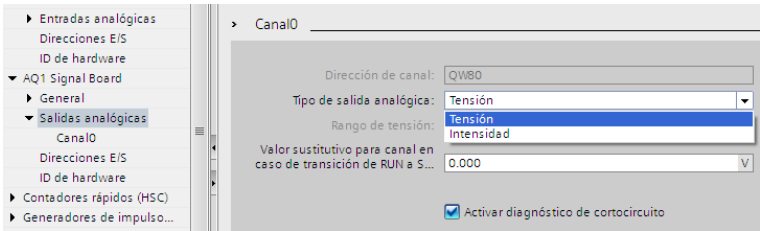
Comenzando por la entrada analógica, es necesario conocer la dirección del registro del PLC en la que se almacena. La pantalla de la Figura 4.4 muestra el área de propiedades denominada “AI2”, aquí se muestra la dirección de la entrada la cual viene predeterminada con la dirección `%IW64`, una variable de tipo “Word”.

La salida analógica posee una dirección predeterminada de `%QW80`, la cuál podemos encontrar la sección del área de propiedades denominada “AQ1”. Al tratarse de una señal de salida analógica es posible seleccionar el tipo de salida, tensión o corriente, véase la Figura 4.5.

La planta requiere de una señal de control de tensión para el calentador por lo que se eligió el tipo de salida de tensión para la salida analógica.



**Figura 4.4** Pantalla de configuración de entradas analógicas.



**Figura 4.5** Tipo de salida analógica.

## 4.4 Programación del PLC

Simplificando el desarrollo de la programación a continuación se muestra el procedimiento que se realizó para su creación:

- Creación de la tabla de variables del PLC.
- Desarrollo de los bloques de programa.
- Sintonización del controlador.

### 4.4.1 Creación de la tabla de variables del PLC

Para el desarrollo del programa de control cabe recordar las variables de entrada y salida de nuestro sistema detalladas en la tabla 4.1, éstas variables deben estar presentes dentro del programa, por lo que se creó una tabla de variables del PLC, véase la Figura 4.6.

En esta tabla además de las variables del sistema existen variables internas auxiliares que se usan en los siguientes apartados.

	Nombre	Tipo de datos	Dirección
1	Vin	Word	%IW64
2	AuxVin	Real	%MD10
3	Grados	Real	%MD14
4	SetPoint	Int	%MW50
5	Controlador	Int	%QW80
6	PID_Integral	Real	%MD80
7	PID_Derivativo	Real	%MD90
8	PID_Proporcional	Real	%MD70
9	U	Int	%MW60
10	Aux_U	Real	%MD65

Figura 4.6 Tabla de variables del PLC utilizadas en el programa.

4.4.2 Desarrollo de los bloques de programa

Dentro del desarrollo de la programación se estableció una jerarquía, cada uno de los procesos se crearon en diferentes bloques de programación véase la sección 3.1.3, mientras que el bloque de programa principal (OB1) sirve únicamente para realizar la llamada a diferentes tipos de bloques de funciones.

Bloques de Función

En las secciones posteriores a esta se usarán bloques de funciones, por lo que en esta sección se explicará la manera adecuada de usar estos bloques. Los bloques de función se usan con la intención de desarrollar funciones específicas para la aplicación que el usuario esté desarrollando para posteriormente ser llamados por un bloque de programa.

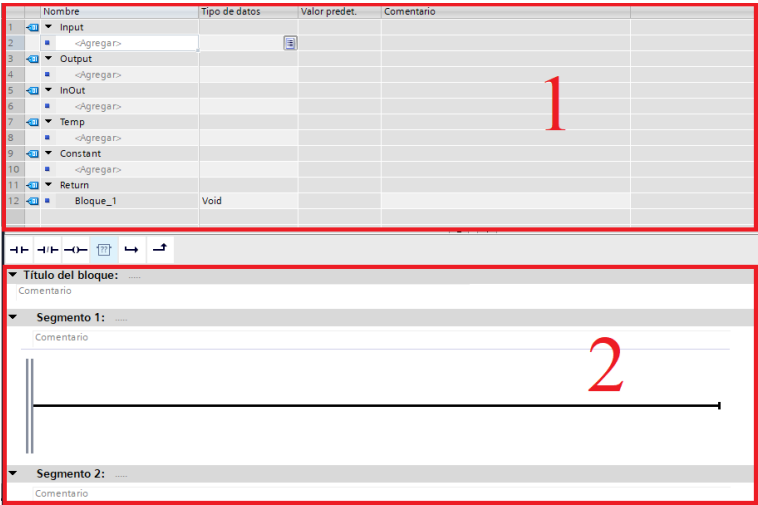


Figura 4.7 Área de trabajo de un bloque de función.

El área de trabajo de un bloque de función se subdivide en 2 áreas, señaladas en la Figura 4.7, en el área número “1” es donde establecemos los parámetros internos del bloque de función como por ejemplo entradas, salidas, retornos, etc. Estos parámetros se mostrarán al momento de insertar el bloque de función en la programación de un bloque programa.

El área número “2” es donde se realiza la programación del bloque con la que se establece su función.

Nota: Para llamar un parámetro dentro de la programación del bloque es necesario anteponer el símbolo # antes del nombre propio del parámetro.

**Bloque de función de la señal de tensión del sensor de temperatura**

En esta sección se describe el desarrollo del bloque de función al que se llamó “Variable de Temperatura”, dedicado a la conversión de la señal de tensión del sensor de temperatura a una magnitud en unidades de grados centígrados, por lo que como entrada se establece el parámetro “Temperatura” y a la salida del bloque se lo denominó “Grados”, haciendo referencia a los valores que almacenarán.

Se debe mencionar que en todos los casos que se vaya a elaborar un proyecto que involucre una señal de entrada analógica del PLC, hay que realizar un normalizado y un escalado de la señal, véase las secciones 3.2.1 y 3.2.2, este proceso se realizó dentro de un bloque de función y su programación se muestra en la Figura 4.8.



**Figura 4.8** Programación del bloque de función de la señal de temperatura.

Esta función se realiza con la finalidad de transformar una señal analógica que el PLC interpreta como una señal que varía en el rango de {0,27648}, y así obtener una variable con una magnitud real.

Para determinar los valores de las entradas MIN y MAX de las 2 instrucciones fue necesario la creación de una tabla donde se toma una muestra de los valores de las variables del sistema ante un valor de tensión de salida “forzado”, valores detallados en la tabla 4.3, se debe mencionar que los valores fueron tomados bajo las siguientes condiciones:

- Apertura de aire a la mitad.
- Sensor de temperatura en la posición más alejada con respecto al calefactor.
- Temperatura ambiente del aire al momento de realizar la toma de datos entre 20°C y 25°C.

Los valores de los parámetros de las instrucciones “NORM\_ X” y “SCALE\_ X” se detallan en la tabla 4.4.



**Tabla 4.3** Tabla de valores tomados del sistema.

Salida analógica forzada	Tensión de la señal de salida(V)	Tensión de la señal de entrada(V)	Temperatura de la planta(C)
0	0	2.35	29
1000	0.38	2.5	29.5
2000	0.76	2.6	30
5000	1.91	3.4	32
7500	2.86	4.1	34
10000	3.83	4.9	36
12500	4.79	5.7	38
15000	5.77	6.5	40
17500	6.75	7.2	42
20000	7.71	7.7	44
22500	8.68	8.4	45
25000	9.66	8.8	46
27500	10.78	9.4	47.5
30000	12.3	9.5	49

**Tabla 4.4** Tabla de valores de los parámetros MAX Y MIN.

Instrucción	MIN	MAX
<b>NORM_ X</b>	6000	24300
<b>SCALE_ X</b>	29	49

Como resultado se obtuvo que el valor de la variable interna del PLC “Vin” véase Figura 4.6, refleje un valor muy cercano al que muestra el termómetro que posee la planta de temperatura, comprobando de esta manera que el proceso funciona correctamente.

Nota: Si las condiciones en las que fueron tomadas las medidas de referencia son distintas lo recomendable es realizar nuevamente la tabla 4.1.

### Bloque de programa PID

Antes de describir el proceso que se realizó para la programación del PID, se debe aclarar las condiciones necesarias para su uso, la instrucción “Compact\_PID” es una instrucción que implementa a través de un algoritmo un controlador PID, véase la ecuación 3.3, ahora esta instrucción debe estar dentro de un bloque que la ejecute en tiempo real y finalmente este bloque debe ser invocado al bloque de programa principal del programa.

El primer paso para usar la instrucción del controlador PID que proporciona el programa Tia Portal es necesario en primer lugar agregar un “objeto tecnológico”, véase la sección 3.1.3, aquí se seleccionó la opción de controlador PID\_Compact, instrucción elegida para realizar el control de la planta, la Figura 4.9 muestra la pantalla de configuraciones que permite realizar el PID.

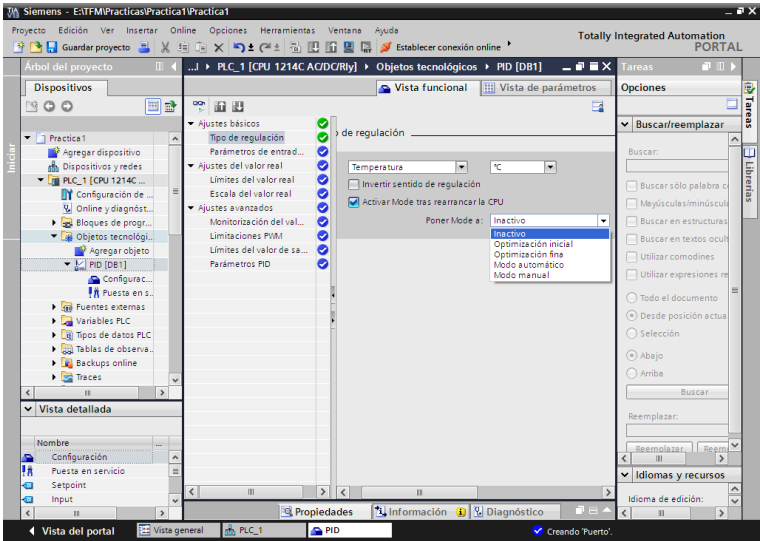


Figura 4.9 Pantalla de configuraciones del bloque “PID\_ Compact”.

Es recomendable nombrar al objeto tecnológico con un nombre diferente al que viene predefinido para facilitar su reconocimiento. Comenzando por los tipos de regulación que permite elegir el controlador al tratarse de una planta de temperatura se escogió esta opción, y se colocó al controlador en estado “Inactivo” véase la sección 3.2.3, esto como medida de seguridad.

Se creó un nuevo bloque de programa del tipo “Cyclic interrupt”, aquí se llamará al objeto tecnológico que hace referencia al controlador PID configurado anteriormente, lo que sigue es añadir este objeto tecnológico desde el área de herramientas, véase la sección 3.1.1, añadirlo al área de trabajo. Tal y como se muestra en la Figura 4.10.

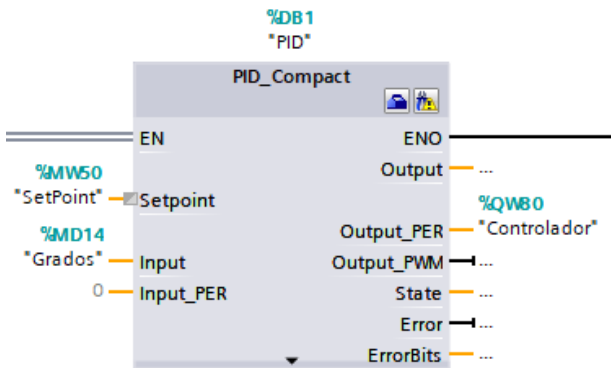


Figura 4.10 Bloque de instrucción PID.

Las variables que se asignan a este bloque son las mismas que muestra la Figura 4.6, en la entrada de “Setpoint” se coloca la variable “SetPoint”, en la entrada “Input” se asigna la variable “Grados”, variable que contiene el valor de la tensión del sensor de temperatura de la planta en unidades de grados centígrados, véase la sección 4.4.2.

A la salida del bloque se asigna la variable “Controlador”, ya que es esta la que se refiere a la señal de salida analógica del PLC, encargada del control de la planta de temperatura.

### Bloque de función variables del PID

Llamaremos a este bloque de función “Variables del PID”, se creó por la necesidad de monitorear los parámetros internos del controlador PID, por lo que al tratarse de variables internas el bloque de función no posee una entrada, sin embargo si tendrá 3 salidas denominadas “Proporcional”, “Integral” y “Derivativo” haciendo referencia a los 3 parámetros que van a almacenar.

En esta sección se describe el proceso necesario para almacenar el valor de estos parámetros dentro de variables auxiliares. Para ello se requiere la creación de un nuevo bloque de función y de el uso de la instrucción “MOVE”.

El primer paso es crear un nuevo bloque de función nombrado “Variables del PID”, hecho esto se añadió un cuadro vacío por medio de la herramienta resaltada en la Figura 4.11, en la misma figura se aprecia el cuadro vacío ya añadido al área de trabajo.

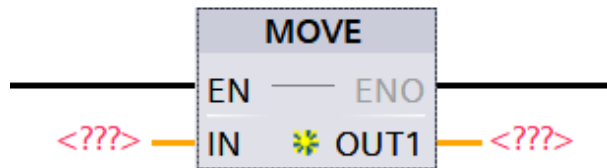


Figura 4.11 Cuadro Vacío.

En la parte superior del cuadro marcada por símbolos de interrogación en color rojo es donde se le asigna la instrucción que se desea para este bloque vacío, con el fin de almacenar el valor de una variable del PID a una variable auxiliar usaremos la función “MOVE” dedicada a asignar valores a variables que no necesariamente deben ser de otras si no también valores numéricos.

A la entrada del bloque “MOVE” se debe asignar la variable interna del parámetro que se desee del OB del que hace referencia al PID, e aquí la importancia del nombre, en este bloque asignaremos los 3 parámetros fundamentales de todo controlador PID, es decir las variables P, I y D, a la salida de cada bloque se asigna una salida del bloque de función.

La Figura 4.12 muestra los bloques de instrucción “MOVE” ya configurados con sus entradas y salidas respectivas, por lo que para efectos posteriores si se desea conocer el valor de estos los parámetros del PID basta con llamar a la variable que lo almacena.



Figura 4.12 Programa del bloque de función “Variables del PID”.

**Bloque de función de la variable U**

En todo proceso de control la salida del controlador debe pasar por un proceso de normalizado y escalado, de esta manera el usuario se asegura de la magnitud de la variable que controla, sin embargo para esta aplicación en particular la salida analógica del PLC trabaja en el mismo rango que la entrada de control de la planta de temperatura, por lo que no es necesario realizar este proceso, sin embargo, para efectos prácticos y posteriores

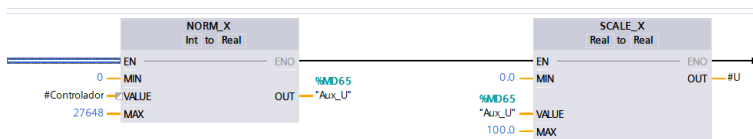
de monitorización de los parámetros de control es importante conocer el porcentaje de la variable de control “U”.

Explicado el motivo del desarrollo de este bloque de función se establece que como entrada tendrá la variable de control obtenida a partir del PID y a salida se obtendrá la variable “U” que refleja el porcentaje de la variable de control, el bloque cuenta como parámetro de entrada “Controlador” y como salida se usa el parámetro denominado “U”.

La programación es la misma que la utilizada en el bloque de función de la sección 4.4.2, sin embargos el valor de los parámetros máximos y mínimos de las funciones de normalizado y escalado son diferentes.

La señal del controlador del PID se mueve en el rango de {0, 27648}, tal y como se menciona en el manual Apéndice A, por lo que se toma el valor de 0 como mínimo y 27648 como máximo.

En lo que se refiere al escalado la intensidad es que la variable “U” muestre el porcentaje de acción de la señal de tensión por lo que se mueve en el rango de {0, 100}, entonces el valor mínimo será de 0 y el máximo de 100. La Figura 4.13 muestra la programación utilizada para el desarrollo de este bloque de función.



**Figura 4.13** Programa del bloque de función “Variables U”.

Nota: El controlador PID se encuentra dentro de un bloque cíclico por lo que no es necesario realizar un llamado desde el bloque “MAIN”.

### Bloque de programa Startup

Cuando arranque el PLC e inicie a funcionar el controlador es necesario establecer un valor inicial para la consigna, con el fin de establecer un punto de partida seguro de todo el sistema evitando riesgos que puedan provocar daños en los dispositivos, el bloque de programa que se desarrolla en esta sección establece este valor inicial.

Al igual que pasa con las direcciones de las variables que poseen direcciones pre establecidas, los bloques de programa poseen números pre asignados dependiendo de su función específica. El bloque denominado “Startup” tiene la característica de establecer valores a las variables antes de que el PLC comience a ejecutar su programa, el bloque en mención posee la dirección 100.

Se debe comenzar creando un nuevo bloque de programa del tipo Startup, la pantalla que muestra la interfaz es la de la Figura 4.14, en donde se señala el tipo de bloque de operación, además se puede apreciar el número 100 y el modo de funcionamiento que se eligió fue el automático, que permite que cada vez que se inicie a funcionar el PLC ejecute el programa de este bloque antes que cualquiera.

En lo que se refiere a la programación se hace uso de la instrucción “MOVE” cuyo procedimiento de creación se muestra en la sección 4.4.2, como entrada del bloque se establece el valor de la consigna con el que se desea que inicie el sistema, al trabajar en

un rango de trabajo de temperatura de {35C,55C} se consideró el valor de 40°C como un valor medio.

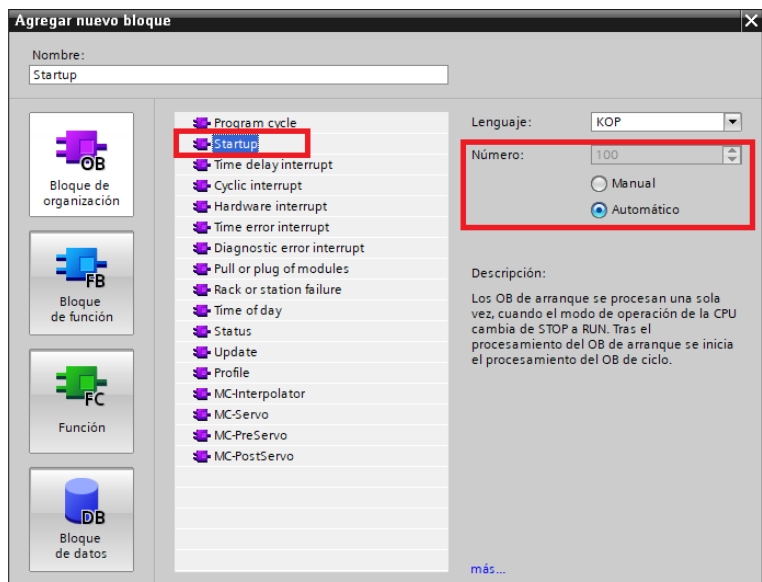


Figura 4.14 Pantalla de configuración del bloque “Startup”.

A la salida del bloque se debe colocar la variable “SetPoint” que se refiere al valor de la consigna del controlador PID. La programación completa de este bloque se muestra en la Figura 4.15.

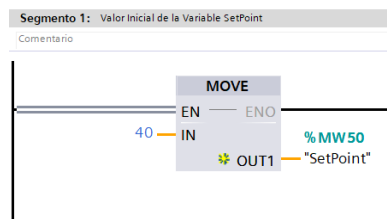


Figura 4.15 Programación del bloque de programa “Startup”.

Nota: Al tratarse de un bloque de programa que arranca antes incluso de que el PLC ejecute el programa no debe ser llamado por el bloque de programa principal denominado “MAIN”.

## 4.5 Bloque de programa principal MAIN

Al tener realizados todos los bloques de función requeridos para el funcionamiento del programa, el paso final es la creación de un bloque principal encargado de llamar a todos los bloques de función.

Como se mencionó en la sección 4.4.2 con la jerarquía establecida, es necesario la creación de un bloque principal encargado de llamar a las funciones creadas para el funcionamiento del programa.

Las variables a las que se hace referencia en esta sección se refieren a las mismas que se crearon en un inicio en la tabla de variables véase sección 4.4.1.

Al crear un nuevo proyecto también se crea un bloque de programa denominado “MAIN” que posee el número 1, y es este bloque el que será el encargado de llamar a los bloques de función.

Para llamar a los bloques de funciones por medio del “MAIN” nos dirigimos al área “árbol del proyecto”, desplegamos la carpeta denominada “objetos de programa” y aparecen todos los bloques de funciones creados en secciones anteriores, ahora simplemente arrastramos los bloques al área de trabajo del bloque “MAIN”.

Hay que recordar el proceso del sistema por lo que el primer paso será llamar al bloque de función que convierte la señal de tensión del sensor de temperatura en grados centígrados. A la entrada de este bloque denominada “Temperatura” asignamos la variable “Vin” que almacena el valor de la señal de tensión que se obtiene directamente de la planta de temperatura a través de la entrada analógica del PLC, a la salida del bloque denominada “Grados” asignamos la variable interna llamada “Grados”, esta variable es la asignada a almacenar el valor de la señal “Vin” en magnitud de de grados centígrados.

El segundo paso es obtener el valor de los parámetros del controlador por lo que se hace uso del bloque de función llamado “Variables del PID” véase la 4.4.2, hay que recordar que este bloque no posee entradas, sin embargo posee 3 salidas “Proporcional”, “Integral” y “Derivativo”, a las que asignamos las variables “PID\_ Proporcional”, “PID\_ Integral” y “PID\_ Derivativo”, variables asignadas para almacenar los valores de estos parámetros.

Finalmente hace falta obtener el porcentaje del valor de la variable de control, para ello hacemos uso del bloque de función “Variable U”, véase la sección 4.4.2. A la entrada de este bloque denominada “Controlador” le asignamos la variable “Controlador” que hay que recordar es la carga de almacenar la señal de control que se obtiene del PID, a la salida denominada “U” asignamos la variable del mismo nombre “U”.

Toda la programación realizada en el bloque de programa “MAIN” se muestra en la Figura 4.16.

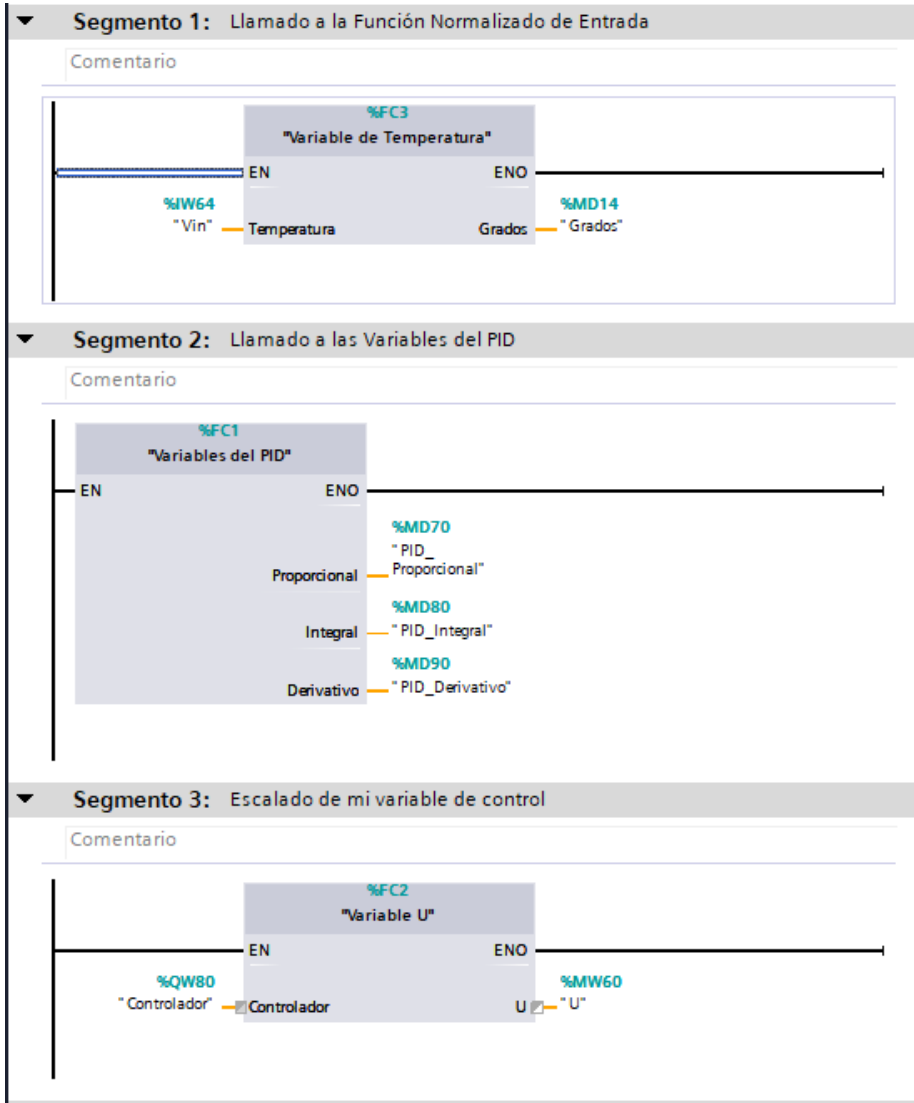


Figura 4.16 Programación del bloque de programa “MAIN”.

### 4.6 Programación de las pantallas del HMI

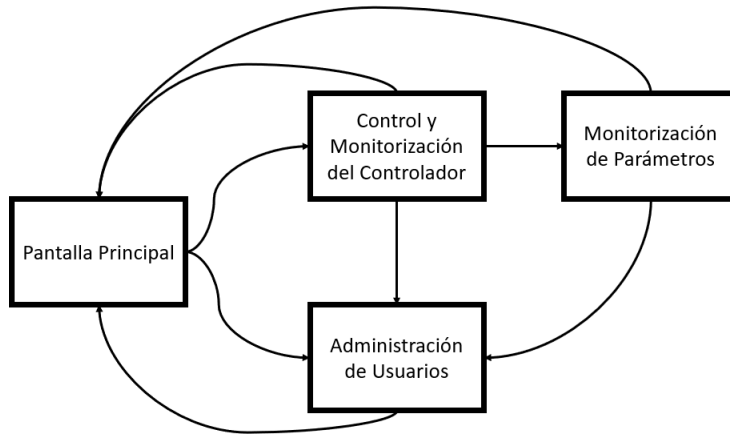
En esta sección se describe el diseño, desarrollo y la implementación del HMI con el que cuenta el sistema. El diseño de un HMI consiste en establecer un orden coherente de las pantallas que lo componen, además, “debe tener la capacidad de mantener un diálogo limpio con el usuario presentando y exigiendo la información estrictamente necesaria”[4].



Siempre el primer paso para el desarrollo de un sistema SCADA será elaborar un esquema con la topología que usará, todo sistema debe contar con una pantalla de presentación que le de la bienvenida al usuario de manera amigable, en el caso particular de este proyecto la creación de una pantalla que grafique las curvas de las variables de control y permita modificar el valor de la consigna es importante, además, conocer los valores numéricos de los parámetros de controlador con el fin de realizar posibles modificaciones también es crucial.

Las pantallas descritas anteriormente necesitan de una jerarquía de acceso dependiendo del cargo que desempeñe cada usuario, por lo que es necesario una pantalla que permita crear cargos de usuarios del sistema.

La Figura 4.17 muestra a través de un esquema de bloques la topología aplicada para la creación de las pantallas con las que contará la aplicación.



**Figura 4.17** Esquema de pantallas del HMI.

#### 4.6.1 Tabla de Variables del HMI

El objetivo de crear un HMI es poder monitorear y controlar ciertos parámetros del sistema, se debe tener claro que el eje central de todo es el PLC y para la supervisión y control de parámetros es necesario establecer una conexión entre el PLC y el HMI particular sobre cada uno de los parámetros que se desea controlar.

En esta sección se describe como se realiza esta conexión, la cuál se hace por medio de una tabla de variables del HMI, en el área “árbol del programa” dentro del HMI en la carpeta “variables HMI” se crea esta tabla, en ella se realiza esta conexión, pero primero se debe establecer los parámetros con los que se desea interactuar desde el HMI.

Estos parámetros son los que se indican en la tabla 4.5, en la tabla se indican los nombres de las variables del PLC que contiene cada parámetro y el nombre de las variables del HMI con los que se enlazan.

La Figura 4.18 muestra la tabla 4.5 dentro del entorno del Tia Portal.

**Tabla 4.5** Tabla de valores de los parámetros MAX Y MIN.

Parámetro	Variable PLC	Variable HMI
Valor de la consigna	SetPoint	Setpoint
Valor de la temperatura de la planta en °C	Grados	Temperatura
Porcentaje de la variable de control	U	U
Valor del parámetro Proporcional del controlador	PID_ Proporcional	Proporcional
Valor del parámetro Integral del controlador	PID_ Integral	Integral
Valor del parámetro Derivativo del controlador	PID_ Derivativo	Derivativo

Setpoint	Int	HMI_Conexión_1	PLC_1	SetPoint
Temperatura	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	Grados
U	Int	HMI_Conexión_1	PLC_1	U
Proporcional	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	PID_Proporcional
Integral	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	PID_Integral
Derivativo	Real	HMI_Conexión_1	PLC_1	PID_Derivativo

**Figura 4.18** Tabla de variables del HMI en Tia Portal.

**4.6.2 Creación de Usuarios**

En esta sección se describe el proceso de creación de usuarios dentro del HMI, este proceso tiene la finalidad de establecer diferentes niveles de acceso a la interfaz dependiendo del cargo que desempeñe el usuario. La tabla 4.6 muestra los diferentes perfiles de usuarios que fueron creados y el nivel de acceso al sistema que posee cada uno.

**Tabla 4.6** Tabla de usuarios del HMI.

Usuario	Nivel de acceso
Administrador	Administrador de Usuarios Monitorización Operación
Operario	Monitorización Operación
Supervisor	Monitorización

Esta tabla se elabora dentro del HMI entrando en la sección “Administrador de Usuarios” ubicado en el área “árbol del proyecto”, hecho esto en primer lugar es necesario ubicarse en la sección grupo de usuarios para establecer los diferentes niveles de usuarios establecidos en la tabla 4.6 con sus respectivos niveles de acceso, esta acción se muestra en la Figura 4.19 donde se señala el grupo de usuarios de administradores y también se destaca en el área de permisos que cuentan con los señalados en la tabla 4.6, lo mismo

sucede con el grupo de operadores y el de supervisores variando los permisos que tenga según su rango.

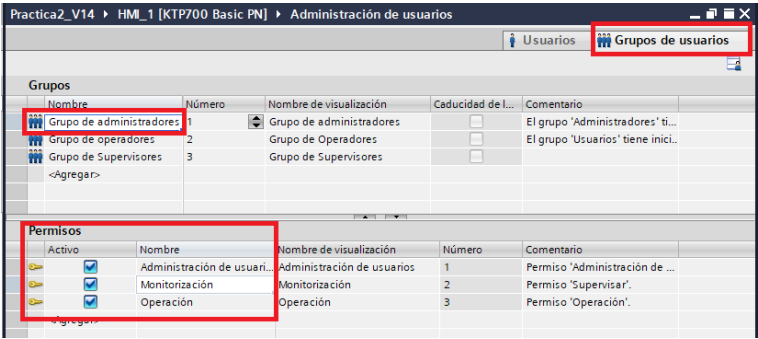


Figura 4.19 Configuración de grupos de usuarios.

Para crear un usuario nuevo en la misma área de trabajo seleccionamos la pestaña “Usuarios” destacada en la Figura 4.20, donde se observa que se encuentra seleccionado el usuario llamado “Ope1” asignado al grupo de operadores, es decir este usuario posee los permisos que posee el grupo.

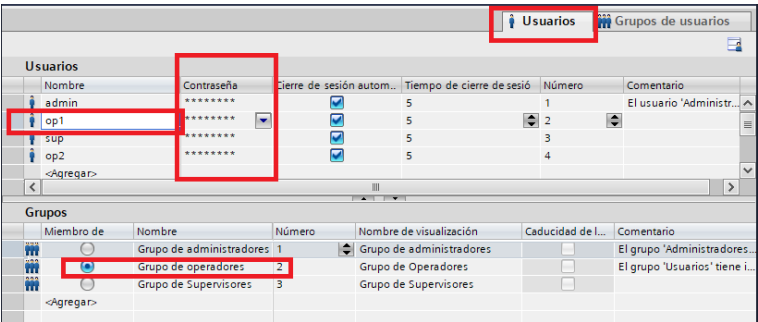


Figura 4.20 Configuración de grupos de usuarios.

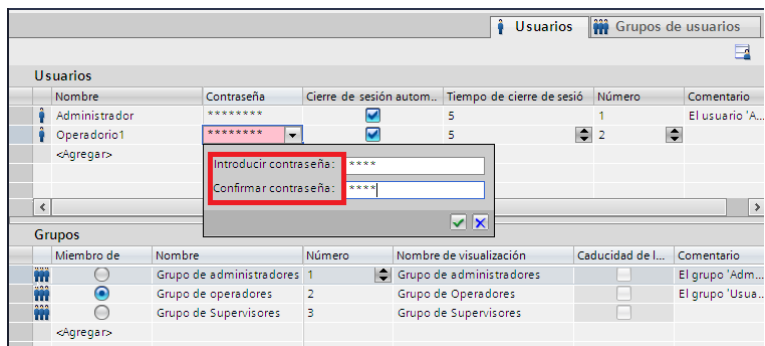
Tabla 4.7 Tabla de asignación de usuarios del HMI.

Nombre de Usuario	Grupo de Usuarios
admin	Grupo de Administradores
op1	Grupo de Operadores
op2	Grupo de Operadores
Sup	Grupo de Supervisores
Supervisor	Monitorización

La tabla 4.7 detalla los usuarios creados en el sistema y el grupo en el que se encuentra

cada uno. Estas condiciones fueron las que se tomaron en cuenta para la creación de la tabla de usuarios dentro del HMI.

Finalmente para establecer el nivel de seguridad de acceso de cada usuario se establece una contraseña, esta contraseña se establece de modo individual, este se traduce a que aunque 2 usuarios pertenezcan al mismo grupo sus contraseñas serán diferentes, claro esto ya queda a criterio del creador del programa. La contraseña se configura en el área denominada “contraseña” la Figura 4.21 muestra la pantalla al momento de establecer un contraseña.



**Figura 4.21** Configuración de contraseña.

**4.6.3 Plantilla**

El HMI cuenta con un apartado denominado “Plantilla” que se refiere al diseño básico que tendrán todas las pantallas del sistema.

Cuando se añade el dispositivo HMI véase la sección 3.3 se crea una plantilla por defecto que se encuentra en el “área de trabajo” dentro del dispositivo HMI en la carpeta “administración de imágenes” sub carpeta “Plantillas” se encuentra la plantilla que se genera por defecto, la cuál se modificó con el fin de satisfacer a las necesidades del HMI.

Según el esquema de la Figura 4.17 el sistema cuenta cuenta las pantallas que componen el sistema se localizan en diferentes niveles y dependiendo del nivel se debe establecer una jerarquía para que no todos los usuarios puedan acceder a todos los niveles, además, esta jerarquía servirá para establecer que tipo de usuario pueda realizar modificaciones en el sistema o que solo pueda visualizar las pantallas.

Por esta razón es necesario tener la opción de identificar el nivel de jerarquía que tenga cada usuario independientemente de la pantalla que muestre el HMI. La Figura 4.23 muestra la plantilla que servirá de base para todas las pantallas del sistema.

La plantilla cuenta con 2 botones llamados “login” y “cerrar”, véase la sección 3.3.3, el botón “login” permite al usuario identificarse con su nombre de acceso y una contraseña previamente establecida, mientras que el botón “cerrar” permite la opción de cerrar la sesión, véase la sección 3.3.4. Además la plantilla cuenta con un elemento de “campo E/S” que muestra el nombre del usuario.

La plantilla además muestra el logo de la Universidad de Sevilla y un navegar que permite navegar entre las diferente pantallas que posee la interfaz.

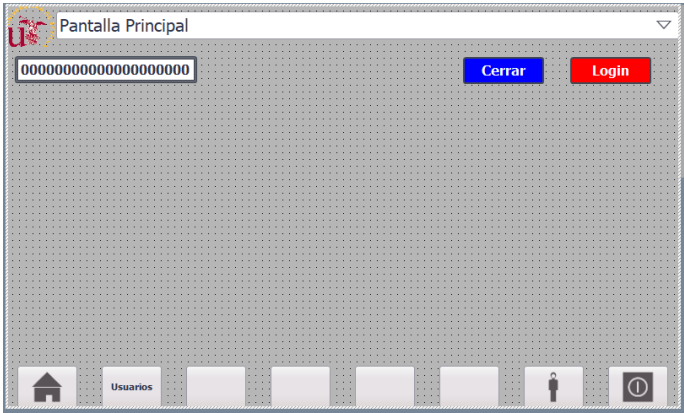


Figura 4.22 Plantilla del HMI.

4.6.4 Pantalla Principal

La pantalla principal cuenta con los elementos establecidos en la plantilla véase sección 4.6.3, en el centro de la pantalla se insertó el nombre el título del proyecto, y además, cuenta con 2 botones, el primero denominado “Control y Monitoreo del controlador” este botón permite acceso a la pantalla del mismo nombre, el segundo botón denominado “Administración de Usuarios” permite acceso a la pantalla del mismo nombre, siguiendo el esquema planteado al inicio de la creación del HMI.

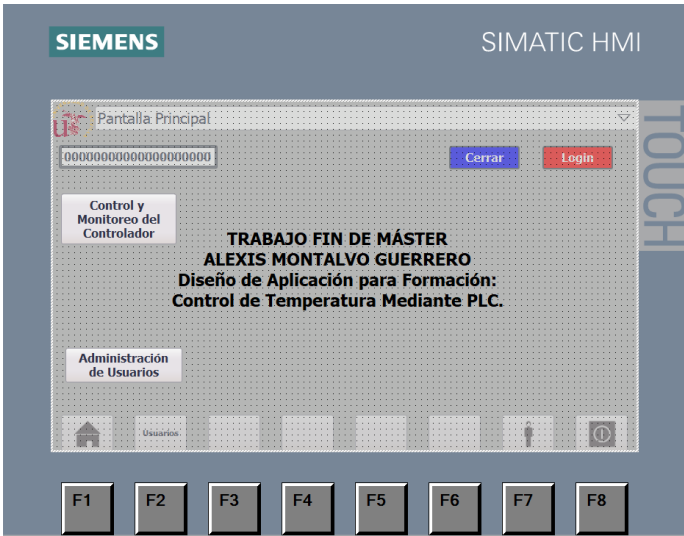


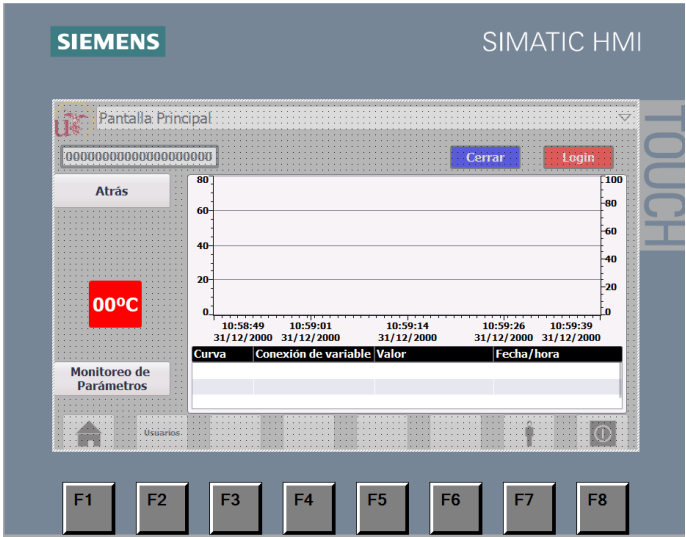
Figura 4.23 Pantalla principal del HMI.

**4.6.5    Monitorizar Procesos**

La pantalla denominada “Control y Monitoreo del Controlador” se encarga de mostrar las curvas descritas por las variables del HMI “SetPoint”, “Temperatura” y “U”, estas curvas se muestran por medio del elemento de control denominado “visor de curvas”, el visor de curvas posee límites establecidos en el eje “Y”, en su configuración que van desde 0°C a 80°C.

Cuenta además, con 2 botones, el primero denominado “Atrás” contiene el evento de que cuanto se lo pulsa lleva al HMI a la pantalla principal, mientras que el segundo denominado “Monitoreo de Parámetros” contiene el evento de que cuando es pulsado muestra la pantalla del mismo nombre.

El último elemento con el que cuenta esta pantalla es el elemento “campo E/S” que se encuentra anexado a la variable del HMI “SetPoint” y permite modificar esta variable por medio de un evento, sin embargo se debe tener cargo de operador o administrador para poder modificar esta variable.



**Figura 4.24** Pantalla de Monitorizar Procesos.

**4.6.6    Monitorizar Parámetros**

La pantalla denominada “Monitoreo de Parámetros” se creó con la finalidad de que el usuario tenga la posibilidad de conocer los valores de los parámetros principales del controlador, por lo que se insertaron tres elementos de “campo E/S” encargado de mostrar el valor de las variables “Proporcional”, “Integral” y “Derivativo”, cada uno de estos elementos se encuentran anexados a la variable del HMI correspondiente al parámetro que muestra, y a su izquierda se insertó un texto con la legenda que corresponde al parámetro que muestra.

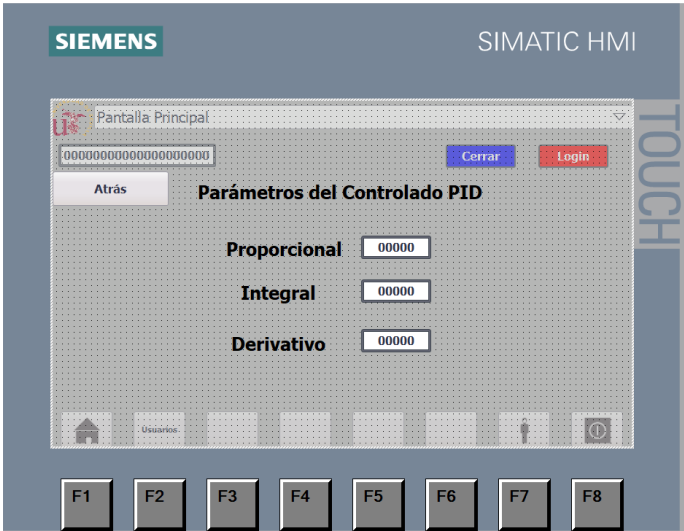


Figura 4.25 Pantalla de Monitorizar Parámetros.

4.6.7 Administración de usuarios

La pantalla denominada “Administración de usuarios” contiene un botón que lleva sobre sí la leyenda “Atrás”, este botón tiene anexo el evento de que cuando se suelta nos lleva a la pantalla principal del HMI.

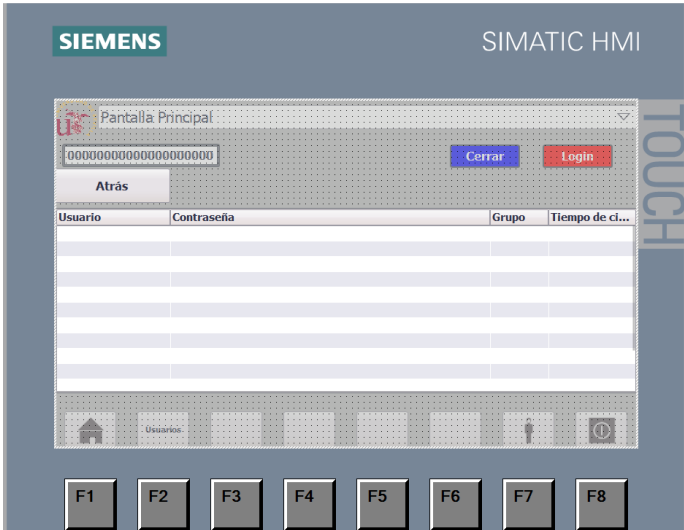


Figura 4.26 Pantalla de Administración de Usuarios.

Esta pantalla además cuenta con el elemento de control llamado “visor de usuarios” el

cuál permite la acción de seguridad “permitir operación” la misma que permite insertar nuevos usuarios que puedan interactuar con el sistema, véase la sección 4.6.2.

## 4.7 Proceso de Operación de auto sintonizado

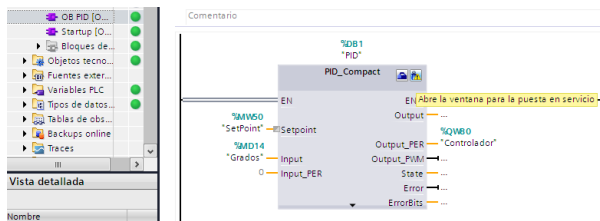
En esta sección se describe el proceso de auto sintonizado del controlador PID. La optimización inicial determina el comportamiento del proceso a un escalón del valor de salida y busca el punto de inflexión. Los parámetros PID óptimos se calculan a partir de la pendiente máxima y el tiempo muerto del sistema regulado. Para obtener los mejores parámetros PID, debe efectuarse una optimización inicial y una optimización fina.[2].

Antes de realizar este proceso de auto sintonizado se debe tener en cuenta la siguiente lista de requisitos proporcionados por el fabricante:

- La instrucción “PID\_ Compact” se llama en un OB de alarma cíclica.
- ManualEnable = FALSE
- Reset = FALSE
- PID\_ Compact se encuentra en el modo de operación "Modo manual", “Inactivo” o “Modo automático”.
- La consigna y el real se encuentran dentro de los límites configurados.
- La diferencia entre la consigna y el valor real es mayor del 30 % de la diferencia entre el límite superior e inferior del valor real.
- La diferencia entre la consigna y el valor real es superior al 50 % de la consigna.

A continuación se realiza una descripción del procedimiento que se siguió para realizar la optimización inicial:

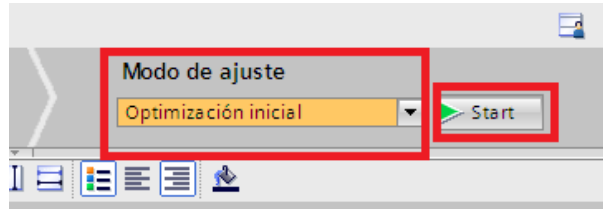
- Cargue el programa desarrollado en el PLC.
- En el área “árbol del proyecto” seleccione el OB que corresponde al PID\_ Compact y seleccione el botón ubicado en la parte superior del bloque denominado “puesta en servicio”, tal y como se muestra en la Figura 4.27.



**Figura 4.27** Puesta en Servicio del PID.

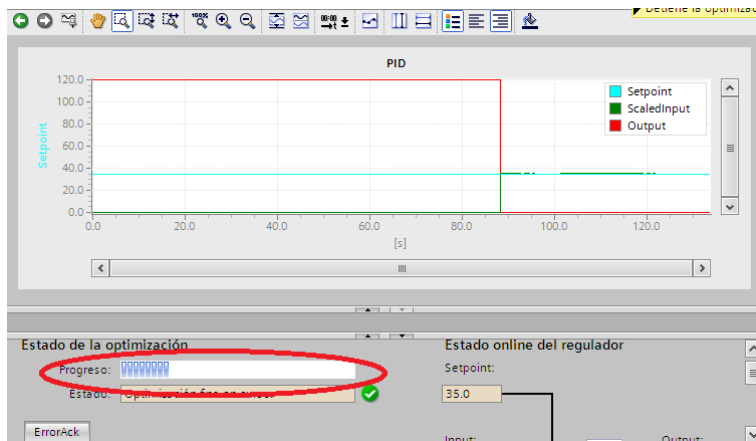


- En la lista desplegable “Modo de optimización” seleccione la entrada “Optimización inicial”, tal y como se muestra en la Figura 4.28.



**Figura 4.28** Optimización Inicial.

- Ponga en marcha el sistema seleccionando el símbolo “Start”, señalado en la Figura 4.28.
- Se establece una conexión online.
- Se inicia el registro de los valores.
- Se inicia la optimización inicial.
- En el campo “Estado” se muestran los pasos actuales y, de haberlos, los fallos ocurridos. La barra de progreso muestra el progreso del paso actual, este y los pasos anteriores se muestran en la Figura 4.29.



**Figura 4.29** Optimización inicial en progreso.

Cuando la optimización inicial finaliza sin ningún error, quiere decir que los parámetros del PID se optimizaron y el modo de operación del “PID\_ Compact” cambia a modo “automático”. Los parámetros optimizados del PID se conservan incluso si se desconecta el PLC y se lo arranca de nuevo. Sin embargo si la optimización inicial detecta un error el

“PID\_ Compact” se comporta en modo “Inactivo” que fue el modo seleccionado en caso de error.

Al final de este procedimiento ya contamos con un controlador, sin embargo el controlador ofrece la posibilidad de un auto sintonizado aún mejor, el modo “optimización fina”.

La optimización fina genera una oscilación constante y limitada del valor real. Los parámetros PID se optimizan para el punto de operación a partir de la amplitud y la frecuencia. A partir de los resultados se vuelven a calcular todos los parámetros PID. Los parámetros PID existentes después de la optimización fina muestran en su mayoría un comportamiento de guía y ante fallos mucho mejor que los parámetros PID de la optimización inicial. Para obtener los mejores parámetros PID, debe efectuarse una optimización inicial y una optimización fina[2].

Antes de realizar este proceso de auto “sintonización fina” se debe tener en cuenta la siguiente lista de requisitos proporcionados por el fabricante:

- La instrucción “PID\_ Compact” se llama en un OB de alarma cíclica.
- ManualEnable = FALSE
- Reset = FALSE
- La consigna y el real se encuentran dentro de los límites configurados.
- El lazo de regulación es estacionario en el punto de operación. El punto de operación se ha alcanzado cuando el valor real coincide con la consigna.
- Riesgo mínimo de perturbaciones en el sistema.
- PID\_ Compact se encuentra en el modo de operación inactivo, automático o manual.

El procedimiento depende del tipo de estado en el que encuentre el controlador:

- **Modo automático**

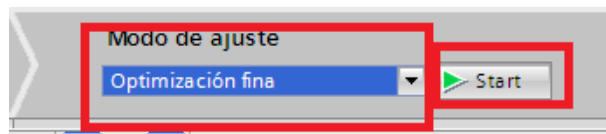
Si desea mejorar los parámetros PID existentes mediante optimización, inicie la optimización fina desde el modo automático. PID\_ Compact regula con los parámetros PID existentes hasta que el lazo de regulación es estacionario y se cumplen las condiciones para la optimización fina. Sólo entonces comienza la optimización fina.

- **Modo manual o inactivo**

Si se cumplen las condiciones para optimización inicial, ésta se inicia. Con los parámetros PID calculados, la regulación se realiza hasta que el lazo de regulación es estacionario y se han cumplido las condiciones para una optimización fina. Sólo entonces comienza la optimización fina. Si no es posible realizar la optimización inicial, PID\_ Compact se comporta del modo configurado en Comportamiento en caso de error. Si el valor real para una optimización inicial se encuentra ya muy cerca de la consigna, se intenta alcanzar la consigna con el valor de salida máximo o mínimo, lo que puede ocasionar una sobreoscilación muy alta.

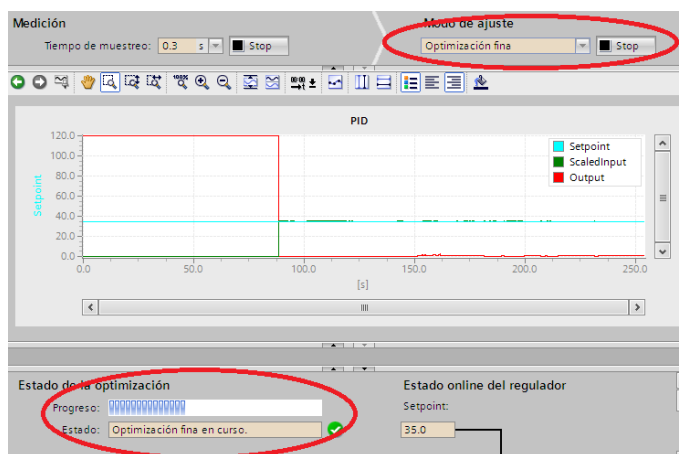
El procedimiento que se siguió para realizar la optimización fina es el siguiente:

- Cargue el programa desarrollado en el PLC.
- En el área “árbol del proyecto” seleccione el OB que corresponde al PID\_ Compact y seleccione el botón ubicado en la parte superior del bloque denominado “puesta en servicio”, tal y como se muestra en la Figura 4.27.
- En la lista desplegable “Modo de optimización” seleccione la entrada “Optimización fina”, tal y como se muestra en la Figura 4.30.



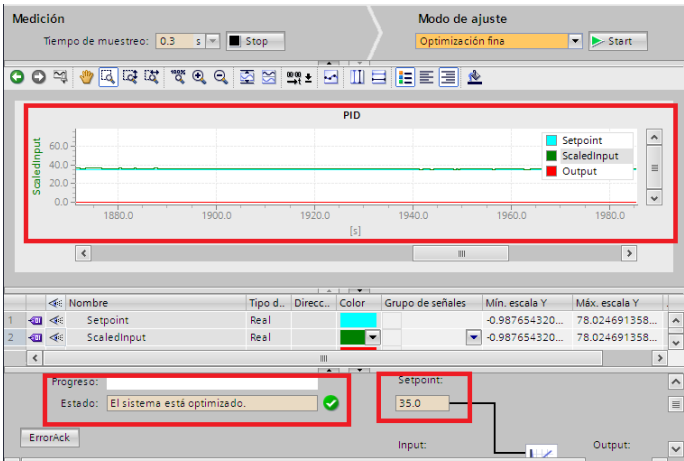
**Figura 4.30** Optimización Fina.

- Ponga en marcha el sistema seleccionando el símbolo “Start”, señalado en la Figura 4.30.
- Se establece una conexión online.
- Se inicia el registro de los valores.
- Se inicia la optimización fina.
- En el campo “Estado” se muestran los pasos actuales y, de haberlos, los fallos ocurridos. La barra de progreso muestra el progreso del paso actual, este y los pasos anteriores se muestran en la Figura 4.31.



**Figura 4.31** Optimización fina en progreso.

Al finalizar el proceso el resultado será como el que se muestra en la pantalla de Figura 4.32, donde en el campo “Estado” aparece el mensaje “El sistema está optimizado” y se aprecia en la gráfica que la curva de la variable “Scalalet Input” que representa a la variable “Vin” traza la misma curva que la variable “Setpoint” que representa a la consigna del sistema que como se señala tiene un valor de 35°C.



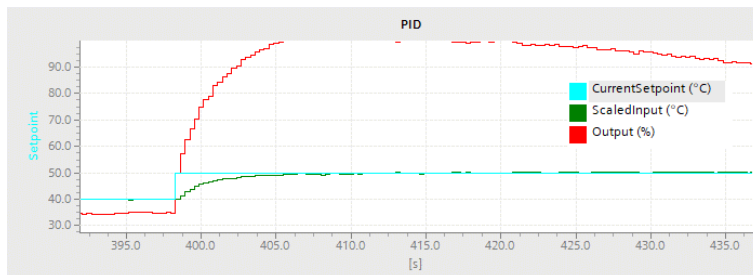
**Figura 4.32** Optimización fina completa con éxito.

## 5 Resultados

El presente capítulo se a describir 2 tipos de comportamiento del sistema, el primero se refiere a la respuesta que tiene el sistema ante estableciendo diferentes tipos de referencias, el segundo se refiere a la respuesta del sistema ante perturbaciones externas.

### 5.1 Respuesta del sistema a seguimiento de referencias

Para realizar este análisis se hará referencia a las curvas que describen las diferentes variables, la curva de color VERDE representa a la temperatura de la planta en grados centígrados, la curva de color CYAN representa a la variable en grados centígrados de la consigna y la curva de color ROJO representa el porcentaje de acción que realiza la señal de control.

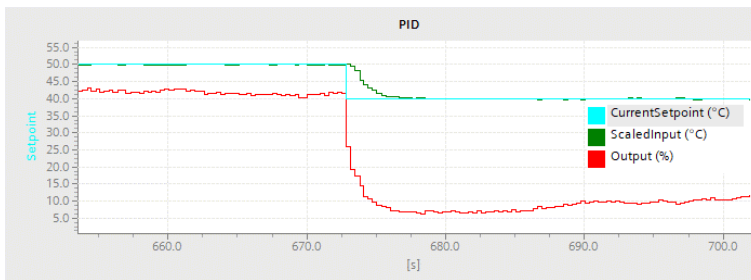


**Figura 5.1** Curvas de respuesta del sistema ante un cambio de Setpoint de 40°C a 50°C.

La Figura 5.1 muestra la respuesta del sistema ante un cambio en la consigna que comenzó con un valor de 40°C y se incrementó hasta los 50°C, este cambio se nota en la curva de la consigna, además se aprecia que el controlador con el objetivo de que la planta alcance esta temperatura incrementa drásticamente el porcentaje de salida de la señal de control que pasó de estar de un 35 % a un 100 % en aproximadamente 7s, al fijarnos en la curva que representa la temperatura del sistema observamos la forma clásica de un sistema

en proceso de control y aunque su tiempo de estabilización es de aproximadamente de 12s la respuesta no presenta sobre oscilaciones por lo que se podría afirmar que el controlador realiza un tipo de control suave.

La Figura 5.2 presenta el caso opuesto al ejemplo anterior, la consigna pasa de tener un valor de 50°C a 40°C, este cambio se aprecia en claramente en la curva que lo representa, en lo que se refiere a la curva que representa el porcentaje de la variable de control se aprecia que paso de funcionar a un 43 % a casi 5 % hasta que el sistema se estabilizó y luego pasó a funcionar alrededor de un 10 % cuando el sistema se estableció este proceso duró aproximadamente 15s, finalmente lo que se refiere a la curva que representa la temperatura del sistema hay que destacar que el tiempo de establecimiento fue de aproximadamente 7s, menor si se lo compara con el ejemplo anterior aunque claro por la naturaleza de la planta de temperatura con la que está trabajando resulta más rápido bajar la temperatura que aumentarla, el comportamiento de la curva nuevamente no presenta sobre oscilaciones.



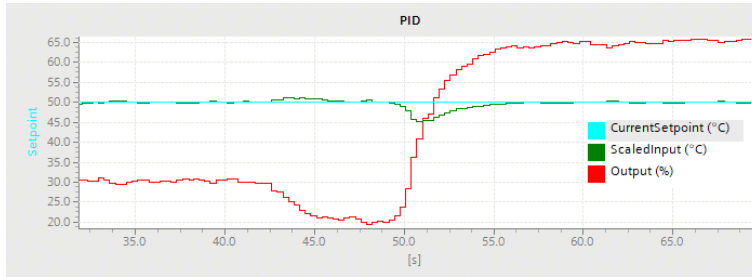
**Figura 5.2** Curvas de respuesta del sistema ante un cambio de Setpoint de 50°C a 40°C.

## 5.2 Respuesta del sistema ante perturbaciones

En esta sección se muestran las gráficas de las curvas de respuesta del sistema ante perturbaciones externas, para simular este fenómeno se hizo uso del control de caudal de aire con el que cuenta la planta de temperatura.

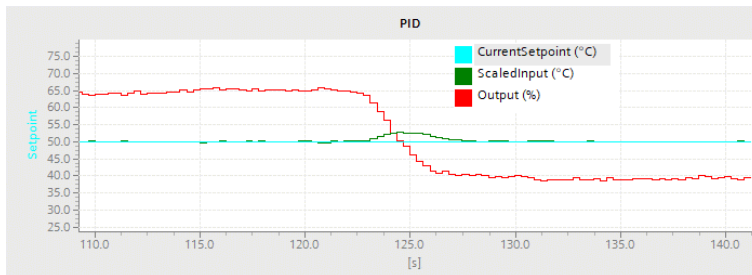
Las curva de color **VERDE** representa a la temperatura de la planta en grados centígrados, la curva de color **CYAN** representa a la variable en grados centígrados de la consigna y la curva de color **ROJO**.

En primer caso representado en la Figura 5.3 se incrementó el caudal de aire lo que provocó un descenso rápido en la temperatura de la planta como se aprecia en la curva resultante de la variable de la temperatura del sistema, se observa que la temperatura pasó de estar a 50°C hasta un pico de casi 45°C po esta perturbación, sin embargo y casi de manera instantánea el controlador incremento el porcentaje de la señal de control que pasó de estar a un 20 % hasta llegar a un 60 % en 12s aproximadamente lo que se tradujo a que la perturbación que afectó al sistema provocara el cambio durante un lapso de 7s aproximadamente que fue el tiempo en que la temperatura volvió a tener el valor de la consigna.



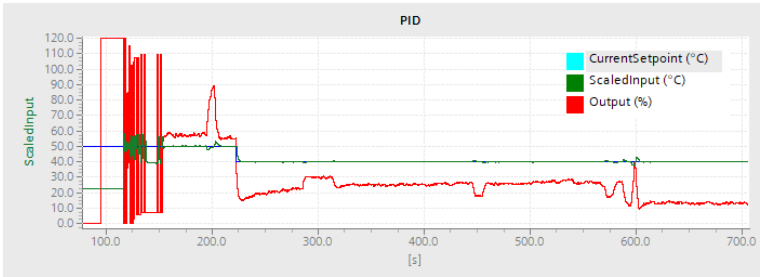
**Figura 5.3** Curvas de respuesta del sistema ante perturbaciones de incremento del caudal del flujo de aire.

Para este ejemplo lo que se hizo fue reducir el caudal de aire que circula por la planta de temperatura y las curvas obtenidas se muestran en la Figura 5.4, la perturbación provocó un incremento en la temperatura que vemos permanecía constante a una temperatura de 50°C pasó a rondar los 54°C, sin embargo este fenómeno duro aproximadamente 5s, el cambio en el porcentaje de la señal de control también es evidente ya que cuando el controlador detecto el cambio brusco de temperatura la señal pasó de rondar un 65 % a funcionar a un 40 % aproximadamente hasta que la temperatura del sistema se estabilizara, esto tomó aproximadamente 7s.



**Figura 5.4** Curvas de respuesta del sistema ante una perturbación de disminución de caudal flujo de aire.

Finalmente la Figura 5.5 muestra todo un proceso donde que comienza desde la optimización del controlador, paso por el cambio de la consigna y se observa el comportamiento de las curvas ante una serie de perturbaciones, de aquí se puede afirmar que luego de que el controlador se optimizara las pruebas al controlador demostraron que el controlador cumple con las expectativas planteadas al mantener la temperatura en un rango muy cercano al valor de la consigna y con respuestas rápidas antes perturbaciones.



**Figura 5.5** Curvas de respuesta del sistema a un proceso con cambio de consigna y perturbaciones.



## 6 Conclusiones

---

El objetivo del presente Trabajo de Fin de Máster consisten en el desarrollo de aplicación para la formación de estudiantes centrado en el control de temperatura mediante PLC, y aunque la información se encuentra en la web cabe destacar que puede llegar a ser confusa y difícil de encontrar para un estudiante novato, es por eso que la creación de un trabajo a especie de guía didáctica era necesario, el contar con explicaciones detalladas de las configuraciones necesarias que se deben realizar antes y después del desarrollo de un aplicación con PLC resultará de mucha utilidad para los futuros profesionales que deseen relacionarse con este mundo de desarrollo de aplicaciones con PLCs.

La interfaz de trabajo Tia Portal es un software que posee una amplia variedad de herramientas que muchas veces son mal utilizadas por los usuarios debido a la falta de conocimiento de todo el catálogo que posee, lo que provoca como resultado aplicaciones que no están bien optimizadas o que generan fallos que no se pueden explicar al momento se ejecución.

Es muy sencillo caer en procesos de desarrollo de aplicaciones que funcionen por “fuerza bruta”, es decir sin una planificación previa, este trabajo inculca que antes de la programación de cualquier sistema se debe tener claro el objetivo y realizar una planificación que permita conseguirlo, establecer una jerarquía al momento de desarrollar una aplicación con PLCs es fundamental, ya que facilita en gran medida el uso de funciones específicas desarrolladas para el sistema.

Las curvas de respuestas obtenidas luego de aplicar el auto sintonizado muestran un controlador que no provoca sobre oscilaciones con tiempos de establecimientos realmente buenos, teniendo en cuenta de que se trabaja con temperatura y siempre el tiempo de respuesta de este tipo de plantas suele tardar más, finalmente con respecto al comportamiento del controlador ante perturbaciones externas también fue satisfactorio con tiempos de reacción casi instantáneos. La herramienta de control que ofrece el propio software Tia Portal resulta muy útil y versátil para ser utilizada en aplicaciones de control de temperatura.



**Apéndice A**  
**Datasheet S71200**  
**6ES7214-1BG40-0XB0**

---



SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, CPU COMPACTA, AC/DC/RELES, E/S INTEGRADAS: 14 DI 24VDC; 10 DO RELES 2A; 2 AI 0 - 10V DC, ALIMENTACION: AC 85 - 264 V AC BEI 47 -63 HZ, MEMORIA DE PROGRAMA/DATOS 75 KB

Display

Con display	No
-------------	----

Tensión de alimentación

Valor nominal (AC)	
• 120 V AC	Sí
• 230 V AC	Sí
Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V
Rango admisible, límite superior (AC)	264 V
Frecuencia de red	
• Rango admisible de frecuencia, límite inferior	47 Hz
• Rango admisible de frecuencia, límite superior	63 Hz

Intensidad de entrada

Consumo (valor nominal)	100 mA con 120 V AC; 50 mA con 240 V AC
Intensidad de cierre, máx.	20 A; con 264 V

Alimentación de sensores

Alimentación de sensores 24 V	
• 24 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V

Intensidad de salida

Intensidad en bus de fondo (5 V DC), máx.	1 600 mA; máx. 5 V DC para SM y CM
---	------------------------------------

Pérdidas

Pérdidas, típ.	14 W
----------------	------

Memoria

Tipo de memoria	EEPROM
-----------------	--------

Memoria de usuario	75 kbyte
Memoria de trabajo	
• integrado	100 kbyte
• Ampliable	No
Memoria de carga	
• integrado	4 Mbyte
• enchufable (SIMATIC Memory Card), máx.	2 Gbyte; con SIMATIC Memory Card
Respaldo	
• existente	Sí; Libre de mantenimiento
• sin pila	Sí
Tiempos de ejecución de la CPU	
para operaciones a bits, típ.	0,085 µs; /Operación
para operaciones a palabras, típ.	1,7 µs; /Operación
para aritmética de coma flotante, típ.	2,3 µs; /Operación
CPU-bloques	
Nº de bloques (total)	DBs, FCs, FBs, contadores y temporizadores. El número máximo de bloques direccionables es de 1 a 65535. No hay ninguna restricción, uso de toda la memoria de trabajo
OB	
• Cantidad, máx.	Limitada únicamente por la memoria de trabajo para código
Áreas de datos y su remanencia	
Área de datos remanentes total (incl. temporizadores, contadores, marcas), máx.	10 kbyte
Marcas	
• Cantidad, máx.	8 kbyte; Tamaño del área de marcas
Área de direcciones	
Área de direcciones de periferia	
• Entradas	1 024 byte
• Salidas	1 024 byte
Imagen del proceso	
• Entradas, configurables	1 kbyte
• Salidas, configurables	1 kbyte
Configuración del hardware	
Nº de módulos por sistema, máx.	3 Communication Module, 1 Signal Board, 8 Signal Module
Hora	
Reloj	
• Reloj por hardware (reloj tiempo real)	Sí
• Desviación diaria, máx.	+/- 60 s/mes a 25 °C
• Duración del respaldo	480 h; típicamente
Entradas digitales	

Nº de entradas digitales	14; integrado
• De ellas, entradas usable para funciones tecnológicas	6; HSC (High Speed Counting)
Canales integrados (DI)	14
de tipo M	Sí
Número de entradas atacables simultáneamente	
Todas las posiciones de montaje	
— hasta 40 °C, máx.	14
Tensión de entrada	
• Valor nominal (DC)	24 V
• para señal "0"	5 V DC, con 1 mA
• para señal "1"	15 VDC at 2.5 mA
Intensidad de entrada	
• para señal "1", típ.	1 mA
Retardo de entrada (a tensión nominal de entrada)	
para entradas estándar	
— parametrizable	0,1 / 0,2 / 0,4 / 0,8 / 1,6 / 3,2 / 6,4 / 10,0 / 12,8 / 20,0 µs; 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,4 / 0,8 / 1,6 / 3,2 / 6,4 / 10,0 / 12,8 / 20,0 ms
— en transición "0" a "1", máx.	0,1 µs
— en transición "0" a "1", máx.	20 ms
para entradas de alarmas	
— parametrizable	Sí
para contadores/funciones tecnológicas:	
— parametrizable	Sí; Monofásica: 3 con 100 kHz y 3 con 30 kHz, Diferencial: 3 con 80 kHz y 3 con 30 kHz
Longitud del cable	
• Longitud del cable apantallado, máx.	500 m; 50 m para funciones tecnológicas
• Longitud de cable no apantallado, máx.	300 m; Para funciones tecnológicas: No
Salidas digitales	
Número de salidas	10; Relé
Canales integrados (DO)	10
Protección contra cortocircuito	No; a prever externamente
Poder de corte de las salidas	
• Con carga resistiva, máx.	2 A
• con carga tipo lámpara, máx.	30 W con DC, 200 W con AC
Retardo a la salida con carga resistiva	
• "0" a "1", máx.	10 ms; máx.
• "1" a "0", máx.	10 ms; máx.
Frecuencia de conmutación	
• de las salidas de impulsos, con carga óhmica, máx.	1 Hz
Salidas de relé	

• N° máx. de salidas de relé, integradas	10
• N° de salidas relé	10
• Número de ciclos de maniobra, máx.	mecánicos: 10 millones, con tensión nominal de carga: 100000
<b>Longitud del cable</b>	
• Longitud del cable apantallado, máx.	500 m
• Longitud de cable no apantallado, máx.	150 m
<b>Entradas analógicas</b>	
N° de entradas analógicas	2
Canales integrados (AI)	2; 0 a 10 V
<b>Rangos de entrada</b>	
• Tensión	Sí
<b>Rangos de entrada (valores nominales), tensiones</b>	
• 0 a +10 V	Sí
• Resistencia de entrada (0 a 10 V)	≥100 kohmios
<b>Longitud del cable</b>	
• Longitud del cable apantallado, máx.	100 m; trenzado y apantallado
<b>Salidas analógicas</b>	
N° de salidas analógicas	0
<b>Formación de valores analógicos</b>	
<b>Tiempo de integración y conversión/resolución por canal</b>	
• Resolución con rango de rebase (bits incl. signo), máx.	10 bit
• Tiempo de integración parametrizable	Sí
• Tiempo de conversión (por canal)	625 µs
<b>Sensor</b>	
<b>Sensores compatibles</b>	
• Sensor a 2 hilos	Sí
<b>1. Interfaz</b>	
Tipo de interfaz	PROFINET
Norma física	Ethernet
con aislamiento galvánico	Sí
Detección automática de la velocidad de transferencia	Sí
Autonegociación	Sí
Autocrossing	Sí
<b>Funcionalidad</b>	
• PROFINET IO-Device	Sí
• PROFINET IO-Controller	Sí
<b>PROFINET IO-Controller</b>	
• Soporta arranque priorizado	
— N° de IO-Devices posibles, máx.	16

Funciones de comunicación	
Comunicación S7	
• Soporta servidor iPAR	Sí
• como servidor	Sí
• Como cliente	Sí
Comunicación IE abierta	
• TCP/IP	Sí
• ISO-on-TCP (RFC1006)	Sí
• UDP	Sí
servidores web	
• Soporta servidor iPAR	Sí
• Páginas web definidas por el usuario	Sí
Funciones de test y puesta en marcha	
Estado/forzado	
• Estado/Forzado de variables	Sí
• Variables	Entradas/salidas, marcas, DB, E/S de periferia, tiempos, contadores
Forzado permanente	
• Forzado permanente	Sí
Búfer de diagnóstico	
• existente	Sí
Traces	
• Número de Traces configurables	2; por cada Trace son posible 512 kbytes datos
Funciones integradas	
Nº de contadores	6
Frecuencia de contaje (contadores), máx.	100 kHz
Frecuencímetro	Sí
Posicionamiento en lazo abierto	Sí
Regulador PID	Sí
Nº de entradas de alarma	4
Nº de salidas de impulsos	4
Aislamiento galvánico	
Aislamiento galvánico módulos de E digitales	
• Aislamiento galvánico módulos de E digitales	500 V AC durante 1 minuto
• entre los canales, en grupos de	1
Aislamiento galvánico módulos de S digitales	
• Aislamiento galvánico módulos de S digitales	Relé
• entre los canales	No
• entre los canales, en grupos de	1
Diferencia de potencial admisible	



entre diferentes circuitos	500 V DC entre 24 V DC y 5 V DC
<b>CEM</b>	
<b>Inmunidad a perturbaciones por descargas de electricidad estática</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmunidad a perturbaciones por descargas de electricidad estática IEC 61000-4-2</li> </ul>	Sí
— Tensión de ensayo con descarga en aire	8 kV
— Tensión de ensayo para descarga por contacto	6 kV
<b>Inmunidad a perturbaciones conducidas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmunidad a perturbaciones en cables de alimentación según IEC 61000-4-4</li> </ul>	Sí
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmunidad a perturbaciones por cables de señales IEC 61000-4-4</li> </ul>	Sí
<b>Inmunidad a perturbaciones por tensiones de choque (sobretensión transitoria)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• por los cables de alimentación según IEC 61000-4-5</li> </ul>	Sí
<b>Inmunidad a perturbaciones conducidas, inducidas mediante campos de alta frecuencia</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inmunidad a campos electromagnéticos radiados a frecuencias radioeléctricas según IEC 61000-4-6</li> </ul>	Sí
<b>Emisión de radiointerferencias según EN 55 011</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clase de límite A, para aplicación en la industria</li> </ul>	Sí; Grupo 1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clase de límite B, para aplicación en el ámbito residencial</li> </ul>	Sí; Si se garantiza mediante medidas oportunas que se cumplen los valores límite de la clase B según EN 55011
<b>Grado de protección y clase de protección</b>	
<b>Grado de protección según EN 60529</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• IP20</li> </ul>	Sí
<b>Normas, homologaciones, certificados</b>	
Marcado CE	Sí
Homologación UL	Sí
cULus	Sí
RCM (anterior C-TICK)	Sí
Homologación FM	Sí
<b>Homologaciones navales</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homologaciones navales</li> </ul>	Sí
<b>Condiciones ambientales</b>	
<b>Caída libre</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altura de caída máx. (en el embalaje)</li> </ul>	0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío
<b>Temperatura ambiente en servicio</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durante fase de servicio, mínima</li> </ul>	-20 °C
<ul style="list-style-type: none"> <li>• máx.</li> </ul>	60 °C

• Montaje horizontal, mín.	-20 °C
• Montaje horizontal, máx.	60 °C
• Montaje vertical, mín.	-20 °C
• Montaje vertical, máx.	50 °C
<b>Temperatura de almacenaje/transporte</b>	
• mín.	-40 °C
• máx.	70 °C
<b>Presión atmosférica</b>	
• En servicio mín.	795 hPa
• En servicio máx.	1 080 hPa
• Almacenamiento/transporte, mín.	660 hPa
• Almacenamiento/transporte, máx.	1 080 hPa
• Altitud de servicio permitida	-1000 a 2000 m
<b>Humedad relativa del aire</b>	
• En servicio máx.	95 %; sin condensación
• Rango permitido (sin condensación) a 25 °C	95 %
<b>Vibraciones</b>	
• Vibraciones	Montaje en pared 2 g; perfil DIN, 1 g
• En servicio, según DIN IEC 60068-2-6	Sí
<b>Ensayo de choques</b>	
• ensayado según DIN IEC 60068-2-27	Sí; IEC 68, parte 2-27; semisinusoide: fuerza de choque 15 g (valor de cresta), duración 11 ms
<b>Concentraciones de sustancias contaminantes</b>	
— SO2 con HR < 60% sin condensación	SO2: < 0,5 ppm; H2S: < 0,1 ppm; HR < 60% sin condensación
<b>programación</b>	
<b>Lenguaje de programación</b>	
— KOP	Sí
— FUP	Sí
— SCL	Sí
<b>Vigilancia de tiempo de ciclo</b>	
• configurable	Sí
<b>Dimensiones</b>	
Ancho	110 mm
Alto	100 mm
Profundidad	75 mm
<b>Pesos</b>	
Peso, aprox.	475 g
<b>Última modificación:</b>	05.02.2015

**Apéndice B**  
**Datasheet HMI KTP700 Basic**  
**6AV21232GB030AX0**

---



SIMATIC HMI, KTP700 BASIC, BASIC PANEL,  
MANDO POR TECLAS/TACTIL,  
PANTALLA TFT 7" , 65536 COLORS,  
INTERFAZ PROFINET,  
CONFIGURABLE CON DESDE WINCC BASIC V13/ STEP7  
BASIC V13,  
CONTIENE SW OPEN SOURCE QUE SE CEDE  
GRATUITAMENTE VER EN EL CD ADJUNTO

Display	
Tipo de display	Pantalla TFT panorámica, retroiluminación LED
Diagonal de pantalla	7 in
Achura del display	154,1 mm
Altura del display	85,9 mm
Nº de colores	65536
Resolución (píxeles)	
Resolución de imagen horizontal	800
Resolución de imagen vertical	480
Retroiluminación	
MTBF de la retroiluminación (con 25 °C)	20000 h
Retroiluminación variable	Sí
Elementos de mando	
Teclado	
Nº de teclas de función	8
Teclas con LED	No
Teclas del sistema	No
Teclado numérico/alfanumérico	
Teclado numérico	Sí ; Teclado en pantalla

Teclado alfanumérico	Sí ; Teclado en pantalla
Manejo táctil	
Como pantalla táctil	Sí
Diseño/montaje	
Montaje vertical (formato retrato) posible	Sí
Montaje horizontal (formato apaisado) posible	Sí
Tensión de alimentación	
Tipo de tensión de la alimentación	24 V DC
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	19,2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo (valor nominal)	230 mA
Intensidad transitoria de cierre A²s	0,2 A²s
Potencia	
Consumo, típ.	5,5 W
Procesador	
Tipo de procesador	
X86	No
ARM	Sí
Memoria	
Flash	Sí
RAM	Sí
Memoria de usuario	10 Mbyte
Tipo de salida	
Acústica	
Zumbador	Sí
Altavoz	No
Hora	
Reloj	
Reloj por hardware (reloj tiempo real)	Sí
Reloj por software	Sí
Respaldado	Sí
Sincronizable	Sí
Interfaces	
Nº de interfaces RS 485	0
N.º de interfaces USB	1 ; hasta máx. 16 GB
Número de slot para tarjetas SD	0

Nº de interfaces paralelas	0
Nº de interfaces 20 mA (TTY)	0
N.º de interfaces RS 232	0
Nº de interfaces RS 422	0
N.º de otras interfaces	0
Con interfaces a SW	No
<b>Industrial Ethernet</b>	
N.º de interfaces Industrial Ethernet	1
LED de estado Industrial Ethernet	2
<b>Informes (logs)</b>	
PROFINET	Sí
PROFINET IO	No
IRT, función soportada	No
PROFIBUS	No
MPI	No
<b>Protocolos (Ethernet)</b>	
TCP/IP	Sí
DHCP	Sí
SNMP	Sí
DCP	Sí
LLDP	Sí
<b>Propiedades WEB</b>	
HTTP	No
HTML	No
<b>Otros protocolos</b>	
CAN	No
MODBUS	Sí ; Modicon (MODBUS TCP/IP)
Soporta protocolo para EtherNet/IP	Sí
<b>Alarmas/diagnósticos/información de estado</b>	
<b>Avisos de diagnósticos</b>	
Se puede leer la información de diagnóstico	No
<b>CEM</b>	
<b>Emisión de radiointerferencias según EN 55 011</b>	
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase A)	Sí
Emisión de perturbaciones radioeléctricas según EN 55 011 (clase B)	No
<b>Grado de protección y clase de protección</b>	
IP (frontal)	65

Envolvente tipo 4 en el frente	Sí
Enclosure Type 4x en el frente	Sí
IP (lado posterior)	20
<b>Normas, homologaciones, certificados</b>	
Marcado CE	Sí
Homologación KC	Sí
cULus	Sí
RCM (anterior C-TICK)	Sí
<b>Uso en atmósfera potencialmente explosiva</b>	
ATEX zona 2	No
ATEX zona 22	No
cULus Class I zona 1	No
cULus Class I zona 2, división 2	No
FM Class I división 2	No
<b>Condiciones ambientales</b>	
Máx. ángulo de inclinación permitido sin ventilación externa	35 °
<b>Temperatura de empleo</b>	
En servicio (montaje vertical)	
En posición de montaje vertical, mínima	0 °C
En posición de montaje vertical, máxima	50 °C
En servicio (máx. ángulo de inclinación)	
Con ángulo máx. de inclinación, mínima	0 °C
Con ángulo máx. de inclinación, máxima	40 °C
En servicio (montaje vertical, formato retrato)	
En posición de montaje vertical, mínima	0 °C
En posición de montaje vertical, máxima	40 °C
En servicio (máx. ángulo de inclinación, formato retrato)	
Con ángulo máx. de inclinación, mínima	0 °C
Con ángulo máx. de inclinación, máxima	35 °C
<b>Temperatura de almacenaje/transporte</b>	
mín.	-20 °C
máx.	60 °C
<b>Humedad relativa del aire</b>	
En servicio máx.	90 %
<b>Sistemas operativos</b>	
Windows CE	No
propietarios	Sí
<b>Ejecutable para sistema operativo de configuración</b>	

otros	No
<b>Configuración</b>	
Ventana de avisos	Sí
Con sistema de alarmas (con búfer y confirmación)	Sí
Representación de valores de proceso (salida)	Sí
Especificación de valores de proceso (entrada) posible	Sí
Administración de recetas	Sí
<b>Software de configuración</b>	
STEP 7 Basic (TIA Portal)	Sí ; vía WinCC Basic (TIA Portal) integrado
STEP 7 Professional (TIA Portal)	Sí ; vía WinCC Basic (TIA Portal) integrado
WinCC flexible Compact	No
WinCC flexible Standard	No
WinCC flexible Advanced	No
WinCC Basic (TIA Portal)	Sí
WinCC Comfort (TIA Portal)	Sí
WinCC Advanced (TIA Portal)	Sí
WinCC Professional (TIA Portal)	Sí
<b>Idiomas</b>	
<b>Idiomas online</b>	
Número de idiomas online/runtime	10
<b>Idiomas</b>	
Idiomas por proyecto	32
<b>Idiomas</b>	
D	Sí
GB	Sí
F	Sí
I	Sí
E	Sí
CHN "tradicional"	Sí
CHN "simplificado"	Sí
DK	Sí
FIN	Sí
GR	Sí
J	Sí
KP/ROK	Sí
NL	Sí
N	Sí
PL	Sí
P	Sí



<b>RUS</b>	Sí
<b>S</b>	Sí
<b>CZ</b>	Sí
<b>TR</b>	Sí
<b>H</b>	Sí
<b>Funcionalidad bajo WinCC (TIA Portal)</b>	
<b>Librerías</b>	Sí
<b>Nº de scripts Visual Basic</b>	No
<b>Planificador de tareas</b>	Sí
<b>controlada por tiempo</b>	No
<b>controlada por tarea</b>	Sí
<b>Sistema de ayuda</b>	Sí
<b>Nº de caracteres por texto informativi</b>	500
<b>Sistema de alarmas (avisos)</b>	
<b>Nº de clases de avisos</b>	32
<b>Nº de avisos de bit</b>	1000
<b>Nº de avisos analógicos</b>	25
<b>Método de numeración de avisos S7</b>	No
<b>Avisos del sistema HMI</b>	Sí
<b>Avisos del sistema de otros (SIMATIC S7, Sinumerik, Simotion, ...)</b>	Sí ; Buffer de avisos del sistema SIMATIC S7-1200 y S7-1500
<b>Valores de caracteres por aviso</b>	80
<b>Valores de proceso por aviso</b>	8
<b>Grupos de confirmación</b>	Sí
<b>Indicador de avisos</b>	Sí
<b>Búfer de avisos</b>	Sí
<b>Nº de entradas</b>	256
<b>Búfer circular</b>	Sí
<b>remanente</b>	Sí
<b>Libre de mantenimiento</b>	Sí
<b>Administración de recetas</b>	
<b>Número de recetas</b>	50
<b>Registros por receta</b>	100
<b>Entradas por registro</b>	100
<b>Tamaño de la memoria de recetas interna</b>	256 kbyte
<b>Memoria de recetas ampliable</b>	No
<b>Variables</b>	
<b>Nº de variables por equipo</b>	800
<b>Nº de variables por sinóptico</b>	100

Valores límite	Sí
Multiplexar	Sí
Estructuras	No
Matrices	Sí
<b>Imágenes</b>	
Número de imágenes configurables	250
Ventana permanente/platilla	Sí
Imagen global	Sí
Imagen inicial configurable	Sí
Selección de imagen vía PLC	Sí
Nº de imagen en el PLC	Sí
<b>Objetos gráficos</b>	
Número de objetos por imagen	100
Campos de texto	Sí
Campos de E/S	Sí
Campos de E/S gráficos (lista de gráficos)	Sí
Campos de E/S simbólicos (lista de textos)	Sí
Campos de fecha/hora	Sí
Interruptores	Sí
Botones	Sí
Visor de gráficos	Sí
Iconos	Sí
Objetos geométricos	Sí
<b>Objetos gráficos complejos</b>	
Número de objetos complejos por imagen	10
Visor de avisos	Sí
Visor de curvas	Sí
Visor de usuarios	Sí
Estado/forzado	No
Visor Sm@rtClient	No
Visor de recetas	Sí
Visor de curvas f(x)	No
Visor de diagnóstico del sistema	Sí ; Buffer de avisos del sistema SIMATIC S7-1200 y S7-1500
Media Player	No
Barras	Sí
Deslizadores	No
Instrumentos de aguja	No
Reloj analógico/digital	No
<b>Listas</b>	

Nº de listas de textos por proyecto	150
Nº de entradas por lista de textos	100
Nº de listas gráficas por proyecto	100
Nº de entradas por lista gráfica	100
<b>Registro histórico</b>	
Nº de archivos históricos por equipo	2
Nº de entradas por archivo histórico	10000
Archivo (registro histórico) de avisos	Sí
Archivo de valor de proceso	Sí
<b>Métodos de archivado</b>	
Archivo secuencial	Sí
Archivo cíclico	Sí
<b>Ubicación</b>	
Tarjeta de memoria	No
Memoria USB	Sí
Ethernet	No
<b>Formato de archivo de datos</b>	
CSV	No
TXT	Sí
RDB	No
<b>Seguridad</b>	
Número de grupos de usuarios	50
Número de derechos de usuario	32
Número de usuarios	50
Exportación/importación de contraseñas	Sí ; Posible con ProSave
SIMATIC Logon	No
<b>Juegos de caracteres</b>	
<b>Teclado</b>	
USA (inglés)	Sí
<b>Juegos de caracteres</b>	
Tahoma	Sí
Arial	No
Courier New	No
WinCC flexible-Standard	Sí
ideogramas	Sí
Tamaño de caracter escalable	Sí
<b>Transferencia (carga/descarga)</b>	
MPI / PROFIBUS DP	No
USB	No

Ethernet	Sí
Mediante medio de memoria externo	No
<b>Acoplamiento al proceso</b>	
S7-1200	Sí
S7-1500	Sí
S7-200	Sí
S7- 300/400	Sí
LOGO!	Sí
Win AC	Sí
SINUMERIK	No
SIMOTION	Sí
Allen Bradley (EtherNet/IP)	Sí
Allen Bradley (DF1)	No
Mitsubishi (MC TCP/IP)	Sí
Mitsubishi (FX)	No
OMRON (FINS TCP)	No
OMRON (LINK/Multilink)	No
Modicon (Modbus TCP/IP)	Sí
Modicon (Modbus)	No
<b>Herramientas/auxiliares para configuración</b>	
Imagen para limpieza	Sí
Calibrar la pantalla táctil	Sí
Backup/Restore	Sí ; Posible con ProSave
Backup/Restore automáticos	No
Simulación	Sí
Conmutación de dispositivo	Sí
Transferencia de deltas	No
<b>Periferia/Opciones</b>	
<b>Periféricos</b>	
Impresora	No
MultiMediaCard	No
Tarjeta SD	No
Memoria USB	Sí
<b>Elementos mecánicos/material</b>	
<b>Tipo de caja (frente)</b>	
plástico	Sí
aluminio	No
Acero inoxidable	No
<b>Dimensiones</b>	

Ancho del frente de la caja	214 mm
Alto del frente de la caja	158 mm
Hueco de montaje/profundidad del equipo (An x Al x P)	
Recorte para montaje, ancho	197 mm
Recorte para montaje, alto	141 mm
Profundidad de montaje	39 mm
<b>Pesos</b>	
sin embalaje	780 g
con embalaje	990 g
Última actualización	08-sep-2014

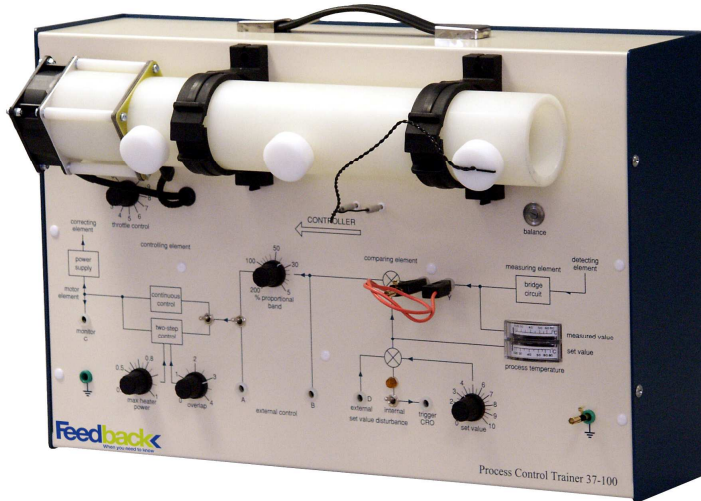


**Apéndice C**  
**Datasheet Process Control Trainer**  
**37-100**

---

## Process Control Trainer

37-100



### Description

A heating element controlled by a thyristor circuit feeds heat into the airstream circulated by an axial fan along a polypropylene tube. A thermistor detector, which may be placed at one of three points along the tube length, senses the temperature at that point. The volume of air flow is controlled by varying the speed of the fan via a potentiometer. A change in setting represents a supply side disturbance and the effects are easily demonstrated. The detector output is amplified to provide both an indication of the measured temperature and a feedback signal for comparison with a set value derived from a separate control. A comparison of these signals generates a deviation signal which is applied to the heater control circuit such that the controlled condition is maintained at the desired value.

The variation of dynamic behaviour with loop gain can be studied with the variable gain facility (proportional band). By increasing the loop gain, oscillatory responses and finally instability are caused. Provision is made for the introduction of set value disturbances in the form of electrical inputs from a suitable function generator (e.g. Feedback FG601).

Many simple temperature control systems use two-step (ON/OFF) controls, which operate when the temperature is outside the controlled limits. A simple switch converts the 37-100 to this mode so that control accuracy and stability can be demonstrated. The effects of adjustments of overlap and maximum heater power can be studied. An external controller is available to enable the operation of compound control to be investigated. The three term controller module PID150Y provides variable controls for adjustment of proportional, integral and derivative terms.

An external  $\pm 15V$ , 100 mA power supply is required for the PID150Y module.

### Optional Accessories

Function Generator FG601  
Electronic Wattmeter EW1604



## Features

- For teaching the basic ideas of process control to technicians, process operators and control engineers
- A practical process in miniature
- Designed for the instruction of students at all levels
- Demonstrates closed and open-loop continuous control as well as two-step control
- Response times enables dynamic behaviour to be seen on oscilloscope or chart recorder
- The system exhibits thermal time constants and time transport lag
- Meters with side-by-side pointers indicate set and measured value

## Distance/Velocity Lag

With the loop open a signal is applied to the controller. Either a step change from a switch on the panel or a signal from an external function generator. Distance/velocity lag (or transport lag) can be measured directly on an oscilloscope triggered by the applied signal.

## Transfer Lag

The open-loop response to a step change can be measured directly on an oscilloscope. The shape of the curve is principally determined by the heater/air and detector/air time constants and an increase in air flow rate will be seen to produce a reduction in transfer lag.

## Calibration

Monitoring points are available which enable the steady-state signal levels at different parts of the system to be measured.

## Two-step Control

The two-step controller has overlap adjustable down to zero and means of controlling maximum heater power. The effect of overlap on the amplitude and frequency of temperature alternations can be demonstrated.

## Proportional Control

With the loop closed the effect on offset of altering the proportional bandwidth can be observed by comparing the readings on the "set value" and "measured value" meters or by observing deviation directly on an oscilloscope. As proportional bandwidth is decreased offset is reduced until a point is reached at which the system becomes unstable.

## System Response

A supply side disturbance can be produced by changing the inlet air flow, and a change in set value introduced either internally or externally. The response to a step function disturbance can be made under-damped, critically damped or over-damped by adjustment of proportional band.

## Frequency Response

With the loop open and a sine wave signal applied to the input side, measurements of gain and phase are made over the frequency range 0.1 to 10 Hz. The use of Nyquist and Bode diagrams in the analysis of the result is discussed.

## Specification

<b>Maximum heater power</b>	80 W
<b>Velocity flow range</b>	1 – 10 ft/sec (0.304 – 3.05 m/sec)
<b>Detector temperature range</b>	Ambient to 80 degrees
<b>Heater/detector time constant</b>	400 ms
<b>Typical distance – velocity lag</b>	200 ms
<b>Typical natural period</b>	1.0 seconds
<b>Tube length</b>	298 mm (11.75 inches)
<b>Electrical input and output range</b>	± 10 V
<b>Manual supplied</b>	Process Trainer 37-100
<b>Power requirements</b>	220 – 250 V or 100 – 120 V 50 or 60 Hz, 170 VA
<b>Dimensions and Weight</b>	Width: 520 mm Depth: 292 mm Height: 216 mm Weight: 5.6 kg

## Tender Specification

Demonstrator to provide studies of basic control processes used in typical industrial applications. To provide the controls and metering required to demonstrate closed and open-loop continuous control and two-step control. To be compatible with comprehensive instruction manual of assignments and projects supplied on CD-ROM.

## Ordering information

Process Trainer 37-100

## Optional Accessories

Function Generator FG601  
Electronic Wattmeter EW1604



### Feedback Instruments

5 & 6 Warren Court  
Park Road, Crowborough  
East Sussex  
TN6 2QX  
United Kingdom  
Tel: +44 1892 653322  
Sales: [sales@feedback-instruments.com](mailto:sales@feedback-instruments.com)  
Website: [www.feedback-instruments.com](http://www.feedback-instruments.com)

For further information on Feedback equipment please contact ...

Feedback reserves the right to change these specifications without notice

## **Apéndice D**

# **Guía de práctica de formación 1**

---

## **OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA**

- A. Reconocimiento y conexión de la planta de temperatura con el PLC.
- B. Creación de un nuevo proyecto en Tia Portal y configuración del PLC
- C. Creación de la tabla de variables.
- D. Programación de escalado de la señal de entrada analógica.
- E. Creación de una tabla de forzado permanente.
- F. Programación del lazo de control pid mediante PLC.

## **DESARROLLO DE LA PRÁCTICA**

- 1. Presentación del esquema de la planta
- 2. Realizar el plano de conexión de la planta al PLC.
- 3. Seguir el procedimiento del desarrollo de software.
- 4. Puesta en marcha de la aplicación.

## **REQUERIMIENTOS DE LA PRÁCTICA**

- 1. Tabla de Variables del Programa
- 2. Bloque de Función de Normalizado y Escalado de la señal de tensión del sensor de Temperatura
- 3. Bloque de Alarma cíclica para el controlador PID
- 4. Controlador PID de la planta
- 5. Bloque de Programa MAIN

## **PASOS A SEGUIR PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE**

- 1. Crear un nuevo proyecto en el Tia Portal
  - a. Configurar el PLC.
  - b. Crear una tabla de variables que posea las siguientes variables
    - 1. Tensión del sensor de temperatura.
    - 2. Temperatura del sensor de temperatura en °C.
    - 3. Consigna del Controlador.
    - 4. Señal de control de la planta.
    - 5. Variables Auxiliares requeridas.
  - c. Creación de un bloque de función de normalizado y escalado de la señal de tensión del sensor de temperatura.
  - d. Creación del controlador PID
    - 1. Alarma Cíclica
      - 1. Creación del Objeto tecnológico PID\_Compact
  - e. Creación de los Bloques de Función de normalizado y escalado de la señal de control del PID:
  - f. Desarrollo del objeto de programa MAIN.
  - g. Elaboración de una tabla de forzado de variables para la consigna del controlador.

PRESENTACIÓN

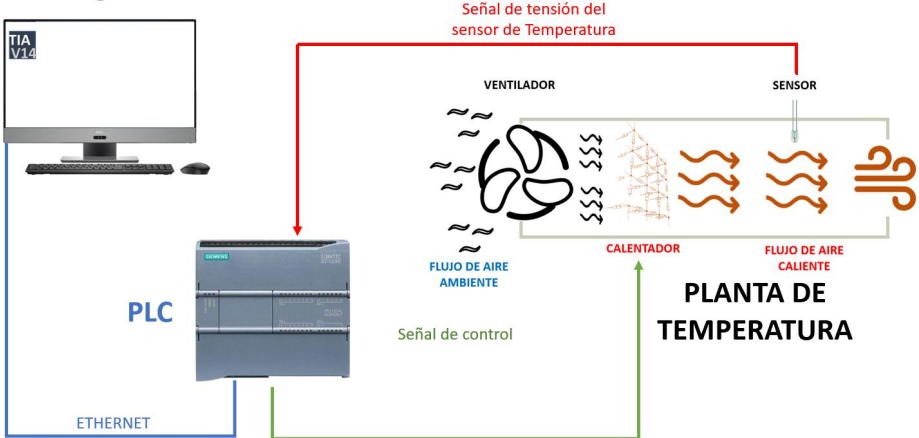
Esquema de la práctica

A continuación, se presenta un esquema básico del sistema sobre el que se desarrollará la práctica, una planta de temperatura controlada por un PLC, y un PC conectado al PLC.

Software sobre el PC:

Tia Portal v13-v14

PC



ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS DEL PLC

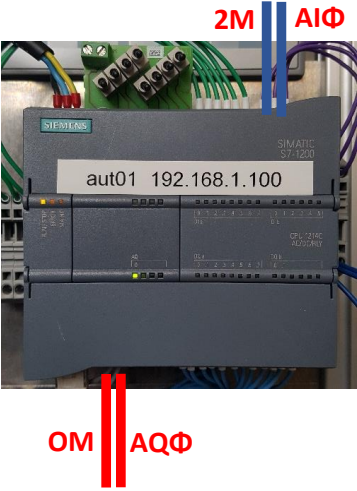
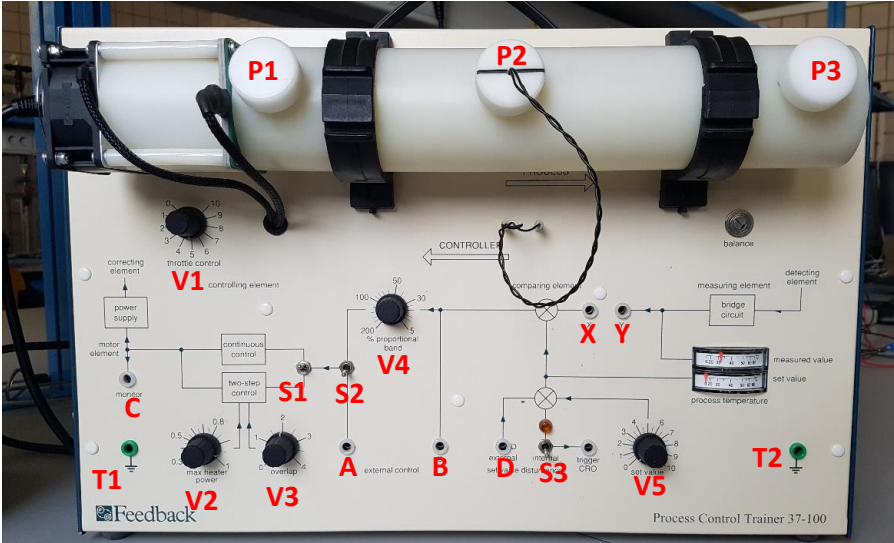
PARTES	FUNCIÓN
2M	Entrada analógica Común
AIΦ	Entrada de señal analógica
0M	Salida analógica Común
AQΦ	Salida de señal analógica

ENTRADAS Y SALIDAS DE LA PLANTA

PARTES	FUNCIÓN
A	Entrada de tensión del controlador externo
Y	Señal de tensión del sensor de temperatura
P1, P2, P3	Posiciones del sensor de temperatura
S1	Seleccionador del tipo de control
T1, T2	Conexiones a tierra
V1	Regulador de la válvula de flujo de aire

Hay que mencionar que la planta de temperatura cuenta con la opción de trabajar con un controlador interno y otra con un externo, por lo que es necesario realizar esta configuración por medio del selector “S1”.

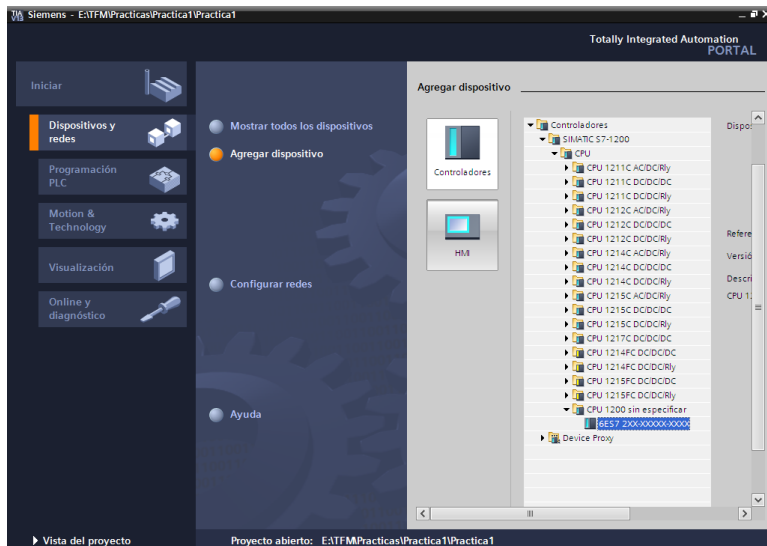
PLANO DE CONEXIÓN



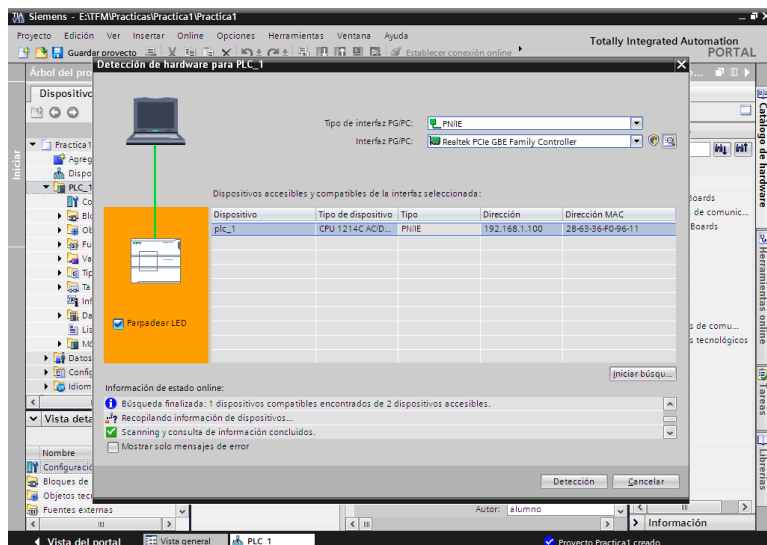
## SECUENCIA DE TRABAJO CON EL SOFTWARE

### 1. TIA PORTAL: Puesta en marcha y creación de un nuevo proyecto.

- 1) Ejecutamos el software Tia Portal
- 2) Elegimos la ruta para guardar el proyecto, lo nombramos y lo creamos.
- 3) Seleccionamos el dispositivo PLC y para hacer uso del reconocimiento de referencia del PLC con el que se va a desarrollar la práctica se elige la opción "6ES7 2XX XXXXX XXXX".



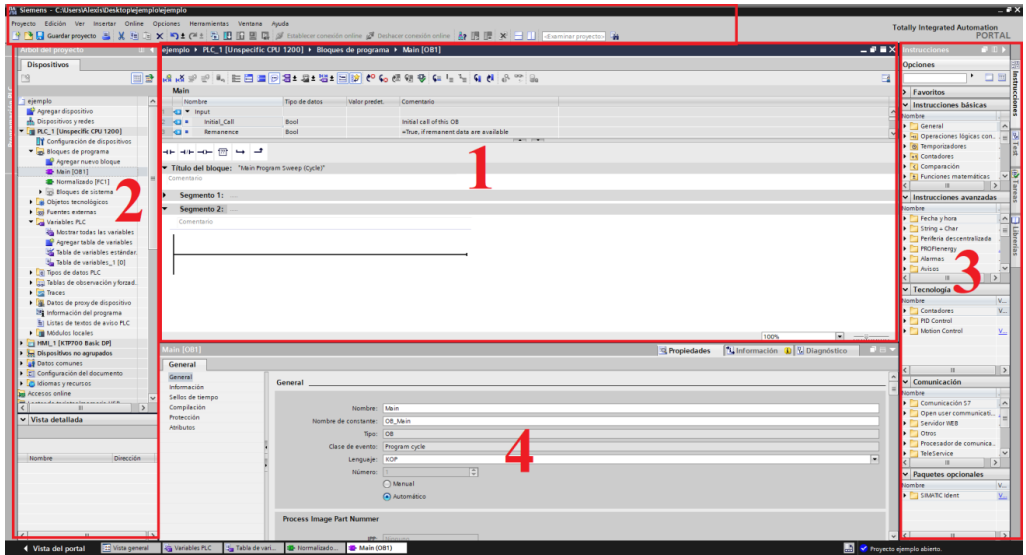
- 1) Determinamos el dispositivo. Al trabajar con una red donde existen más dispositivos, hay que asegurar que se trabaje con el adecuado verificando la dirección IP que aparece en pantalla con la etiqueta colocada en el dispositivo.



## 2. Interfaz de Programación de Tia Portal.

La interfaz de programación proporcionada por este software es realmente amigable con el usuario, y se divide en 4 áreas principales:

- 1) Área de trabajo.
- 2) Árbol del proyecto
- 3) Área de herramientas.
- 4) Área de propiedades

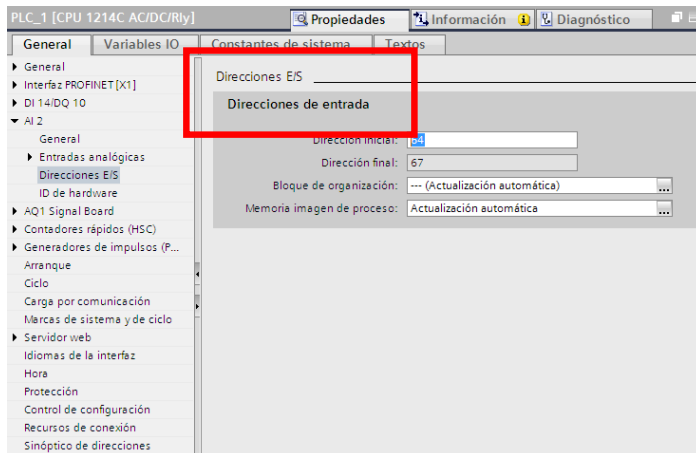


Para futuras referencias.

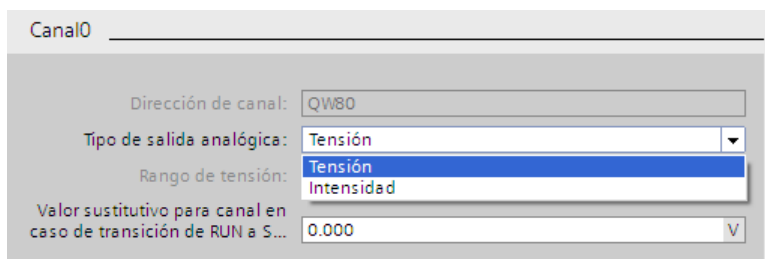
## 3. Configuración de PLC:

- 1) Es necesario conocer las direcciones asignadas para las entradas y salidas analógicas del PLC, para eso nos dirigimos a propiedades del PLC y buscamos la sección que muestre las direcciones que estos parámetros tienen preasignados.



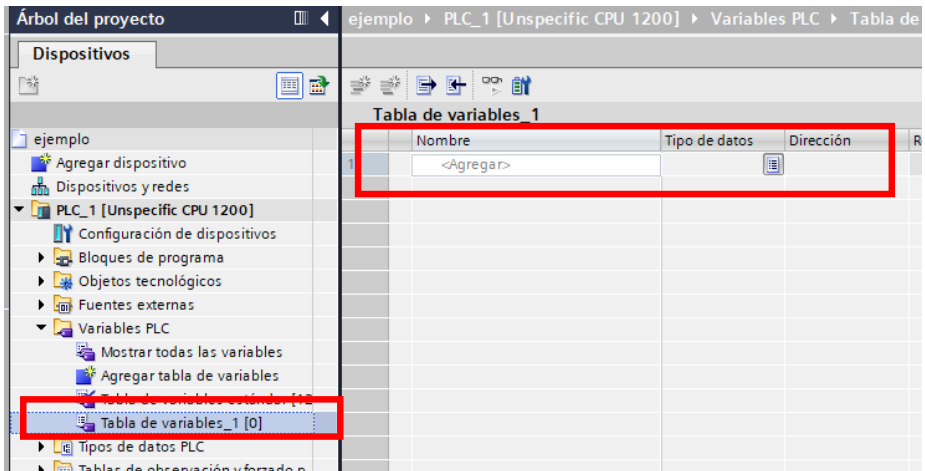


- 2) La salida analógica del PLC permite elegir si se desea trabajar con tensión o corriente, así que también será necesario configurar este parámetro según el requerimiento de nuestra planta.



#### 4. Tabla de Variables del programa.

- 1) Antes de comenzar con la programación se recomienda crear una tabla de variables donde se crean todas las necesarias para el desarrollo de la aplicación, para la creación de esta tabla nos dirigimos al área árbol del proyecto a la carpeta variables del PLC y agregamos una nueva tabla donde agregaremos todas las variables necesarias.



- 2) Las variables del PLC poseen 3 características el nombre, el tipo de dato y la dirección. A continuación, se muestra una tabla con las variables básicas que necesita el sistema, aunque cabe la posibilidad de requerir variables auxiliares.

Nombre	Tipo	Dirección	Variable
xxxx	Word	%IW64	Tensión del sensor de temperatura de la planta
xxxx	X	XXXX	Temperatura del sensor de la planta en °C
SetPoint	X	XXXX	Valor de la consigna del controlador
xxxx	X	XXXX	Señal Analógica del Controlador PID

## 5. Lógica de Programación.

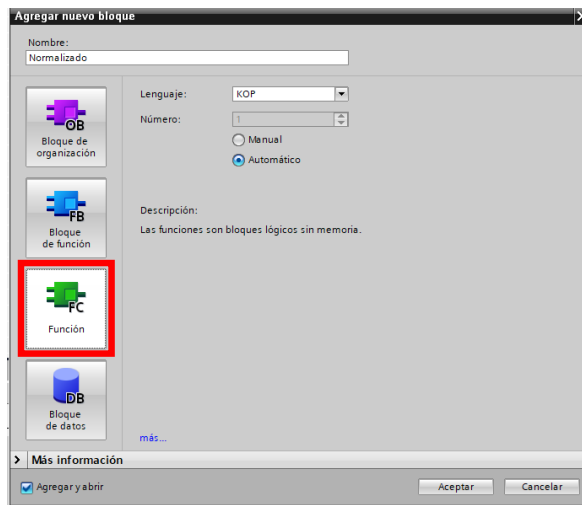
Tia Portal es un software diseñado para trabajar de manera optimizada utilizando un tipo de programación por “jerarquía”, esto quiere decir que existe un bloque de programa “MAIN” principal encargado de llamar a los bloques de función, por lo que en esta práctica se hará uso del objeto de programa “MAIN” exclusivamente para llamar a los bloques de función.

Para llamar a un bloque de función desde el “MAIN” solo hace falta arrastrarlo desde su ubicación en el área de árbol del proyecto hasta el área de trabajo del “MAIN”.

### 1) Creación de un bloque de Función

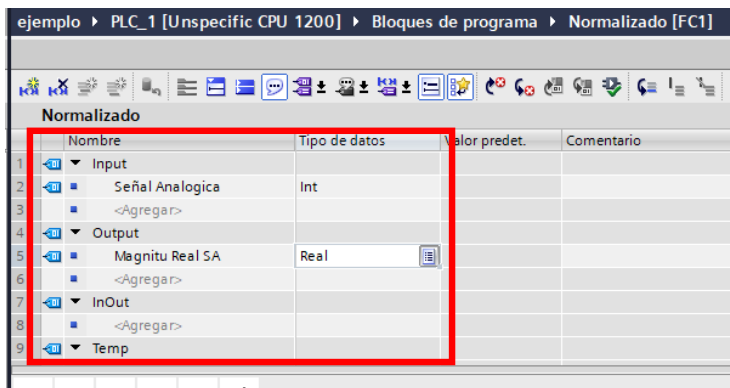
Un bloque de función es un tipo de objeto de programa al igual que “MAIN”, sin embargo y a diferencia de un objeto de programa estos no cuentan con una memoria por lo que sirven exclusivamente para desarrollar funciones.

Se crean agregando un nuevo objeto de programa y seleccionando el tipo función.

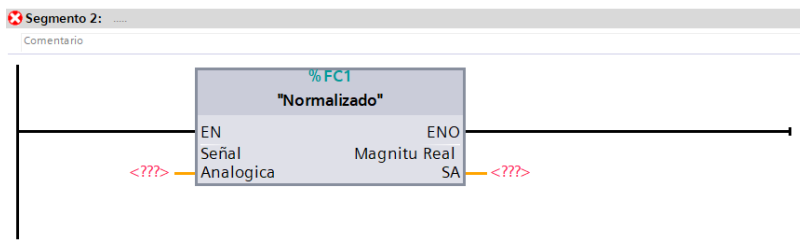


Es muy importante mencionar que la manera adecuada de trabajar con un bloque de función es establecer en primer lugar los parámetros de entrada y salida que tendrá este bloque, estos parámetros funcionan a modo de variables internas del bloque y poseen la característica del tipo de dato que va a almacenar, pero no cuentan con una dirección asignada por lo que solo podrán ser utilizadas dentro del propio bloque de función.

El área resaltada en la siguiente figura muestra donde se añaden los diferentes tipos de variables del bloque de función.

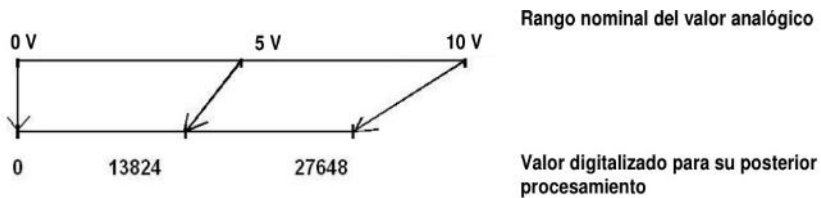


La siguiente figura muestra el bloque de función con entrada “Señal analógica” y salida magnitud, ya insertado en el bloque de programa “MAIN”, allí se aprecia como el bloque requiere de una entrada de “Señal analógica” y a como salida tiene una “Magnitud Real”.



## 6. Conversión de la variable de Tensión de entrada.

- 1) Al trabajar con una magnitud analógica con un PLC, el valor de tensión leído se convierte en información digital. El PLC S7-1200 posee 2 entradas analógicas integradas de voltaje con un rango de 0 a 10V, con un rango de 10 bits dando como resultado un rango total de 0 a 27648.

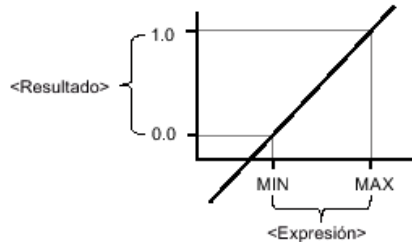


- 2) Al disponer de un valor de entrada analógico en forma digital, este debe normalizarse para que los valores numéricos coincidan con las magnitudes físicas, y para obtener una mayor exactitud siempre es recomendable trabajar con valores de tipo de datos REAL, ya que así se minimiza los errores de redondeo.

## 7. Instrucciones de NORM\_X y SCAL\_X

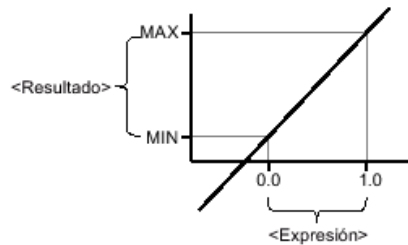
### 1) NORM\_X

La instrucción "Normalizar" normaliza el valor de la variable de la entrada VALUE representándolo en una escala lineal. Los parámetros MIN y MAX sirven para definir los límites de un rango de valores que se refleja en la escala.



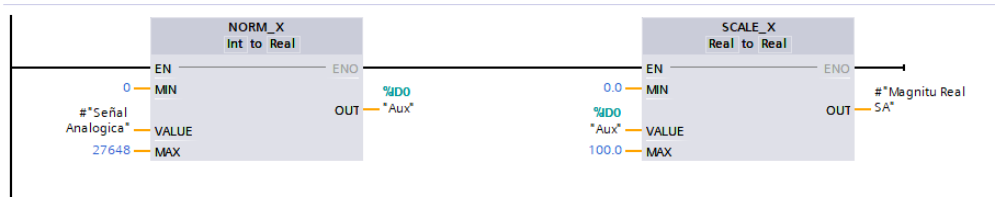
### 2) SCALE\_X

La instrucción "Escalar" permite escalar un número en coma flotante mapeándolo en un determinado rango de valores. El rango de valores se especifica con los parámetros MIN y MAX. El resultado de la escala es un entero.



### 3) Elaboración del programa de Normalizado de una señal analógica.

Un bloque de función de normalizado de una señal analógica debe contar con las 2 instrucciones "NORM\_X" y "SCALE\_X", así a la entrada se introduce una señal analógica digitalizada y se obtiene a la salida la magnitud en unidades reales.



#### 4) Tabla de referencia.

La siguiente tabla refleja datos obtenidos de la planta de temperatura bajo las siguientes condiciones.

- Regulador de caudal de la planta a la mitad de capacidad.
- Sensor de temperatura ubicado en la posición P3.
- Temperatura del ambiente, entre 20°C-25°C

Valor de la variable de Forzado	Tensión de salida del PLC (V)	Tensión del sensor de temperatura (V)	Temperatura de la Planta (°C)
0	0	2,35	29
1000	0,38	2,5	29,5
2000	0,76	2,6	30
5000	1,91	3,4	32
7500	2,86	4,1	34
10000	3,83	4,9	36
12500	4,79	5,7	38
15000	5,77	6,5	40
17500	6,75	7,2	42
20000	7,71	7,7	44
22500	8,68	8,4	45
25000	9,66	8,8	46
27500	10,78	9,4	47,5
30000	12,3	9,5	49

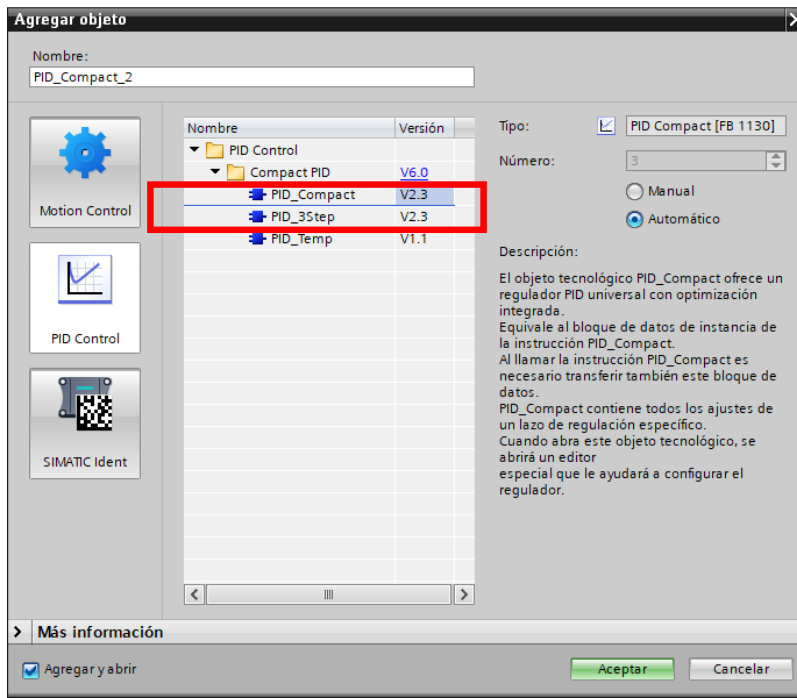
Los valores proporcionados en la tabla deben ser usado únicamente como referencia ya que es muy difícil volver a replicar las condiciones mencionadas, e incluso cabe la posibilidad de que varíen de planta a planta.

## 8. Creación del Controlador PID

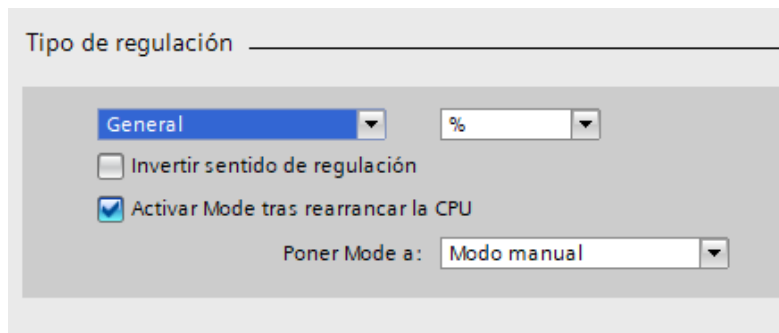
Es necesario elaborar un controlador que se encargue de gestionar la tensión proporcionada por la salida analógica del PLC, es por esto por lo que se hace uso del objeto tecnológico PID\_Compact el cuál se encarga de ejecutar un algoritmo de control interno, pero al tratarse de un objeto tecnológico no puede ejecutarse en un objeto de programa cualesquiera, requiere de un bloque de organización.

### 1) Objeto tecnológico PID\_Compact

Es necesario agregar el objeto tecnológico PID\_Compact y es recomendable nombrarlo de una manera que sea fácilmente identificable, esto es especialmente útil cuando se realizan aplicaciones que involucran una gran cantidad de líneas de programación.

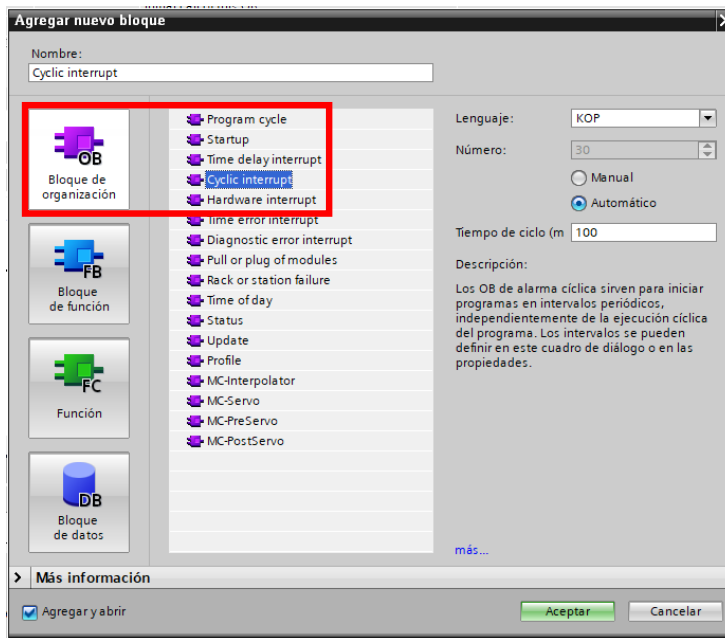


Es necesario establecer el tipo de regulación que se va a realizar con el objeto recién agregado.

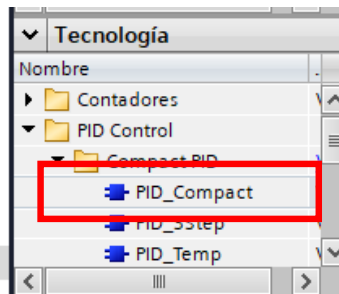


## 2) Bloque de organización de alarma cíclica.

Este tipo de objeto interrumpe la ejecución cíclica del programa en intervalos determinados, el tiempo de arranque del periodo corresponde al cambio de estar operativo de STOP a RUN. Para añadir este tipo de objeto simplemente agregamos un nuevo bloque de programa y seleccionamos la opción "Cyclic interrupt".



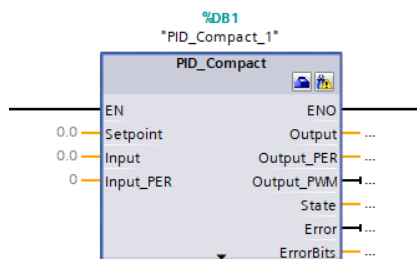
El PID\_Compact se agrega al bloque de alarma cíclica desde el área de herramientas, en la sección de tecnología, y simplemente se lo agrega al área de trabajo del bloque.



### 3) Parámetros del PID\_Compact

El objeto tecnológico PID\_Compact cuenta con 2 diferentes tipos de entradas "Input" está dedicada a procesar variables digitales ya normalizadas, mientras que "Input\_PER" se utiliza con señales analógicas digitalizadas que no se han normalizado.

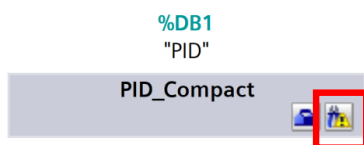




Como salidas el controlador posee 3 diferentes opciones la primera "Output" proporciona una variable de salida que necesita ser normalizada, la segunda es "Out\_PER" que genera una salida analógica digitalizada y como tercera opción "Output\_PWM" ofrece la posibilidad de trabajar como su nombre lo indica con una señal PWM.

#### 4) Visualizar las curvas de variables.


Al estar dentro de un bloque de programa de alarma cíclica, el controlador no requiere ser llamado desde el "MAIN", dicho esto el controlador PID se pone en marcha una vez se cargó el programa al PLC, entonces dentro del bloque de alarma cíclica en el mismo bloque PID\_Compact se elige la opción de puesta en servicio.



### 9. Creación de una tabla de forzado de variables.

Cuando se ponga en marcha el controlador será necesario poder modificar la consigna del PID y la manera más sencilla de realizar este proceso es por medio de una tabla de observación, la cual se crea en la carpeta "tabla de observación y forzado".

Esta tabla es útil únicamente cuando se está ejecutando un proceso, entonces tendremos que haber colocado previamente la variable que queremos "forzar", en la sección "valor de forzado" establecemos el valor que queremos dar a la variable y el botón forzar inmediatamente se encarga de ordenar al PLC establece este valor para la variable que colocamos antes de ejecutar el proceso.

<div>  </div>					
	Nombre	Dirección	Formato visualiza...	Valor de observac...	Valor de forzado
1	"SetPoint"	%MW50	DEC+/-	40	40
2		<Agregar>			



## Apéndice E

# Guía de práctica de formación 2

---

## **OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA**

- A. Reconocimiento y conexión de la planta de temperatura con el PLC.
- B. Creación de un nuevo proyecto en Tia Portal y configuración del PLC
- C. Creación de la tabla de variables.
- D. Programación de escalado de la señal de entrada analógica.
- E. Creación de una tabla de forzado permanente.
- F. Programación del lazo de control PID mediante PLC.

## **DESARROLLO DE LA PRÁCTICA**

- 1. Presentación del esquema de la planta
- 2. Realizar el plano de conexión de la planta al PLC.
- 3. Seguir el procedimiento del desarrollo de software.
- 4. Seguir el procedimiento de desarrollo de pantalla de operador.
- 5. Puesta en marcha de la aplicación.

## **REQUERIMIENTOS DE LA PRÁCTICA**

- 1. Tabla de Variables del Programa
- 2. Bloque de Función de Normalizado y Escalado de la señal de tensión del sensor de Temperatura
- 3. Bloque de Alarma cíclica para el controlador PID
- 4. Controlador PID de la planta
- 5. Bloque de Programa MAIN
- 6. HMI
  - 1) Plantilla base con logotipo personalizado.
  - 2) Pantalla principal que presente el nombre del autor de la práctica y que permita el acceso a la pantalla de operador a través de un botón personalizado.
  - 3) Pantalla de operador que permita muestre las curvas de las variables del controlador PID.

## **PASOS A SEGUIR PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE**

- 1. Crear un nuevo proyecto en el Tia Portal
  - 1. Configurar el PLC.
  - 2. Crear una tabla de variables que posea las siguientes variables
    - a. Tensión del sensor de temperatura.
    - b. Temperatura del sensor de temperatura en °C.
    - c. Consigna del Controlador.
    - d. Señal de control de la planta.
    - e. Variables Auxiliares requeridas.
  - 3. Creación de un bloque de función de normalizado y escalado de la señal de tensión del sensor de temperatura.
  - 4. Creación del controlador PID
    - a. Alarma Cíclica
      - 1. Creación del Objeto tecnológico PID\_Compact
  - 5. Creación de los Bloques de Función de normalizado y escalado de la señal de control del PID:
  - 6. Desarrollo del objeto de programa MAIN.

## PASOS A SEGUIR PARA EL DESARROLLO DE LA PANTALLA DE OPERADOR

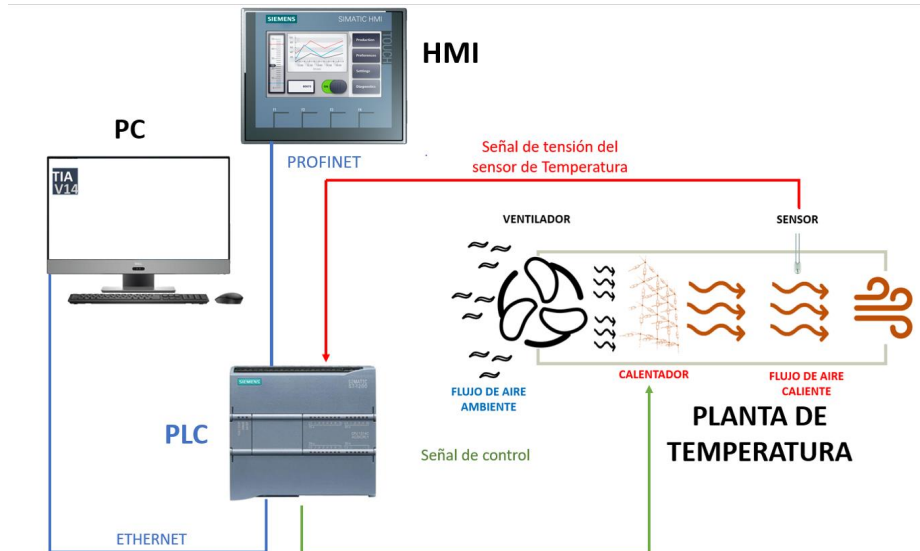
1. Agregar un dispositivo HMI al proyecto.
  - a. Configurar el HMI a través de su asistente.
  - b. Crear una tabla de variables del HMI que posea las siguientes variables:
    1. Temperatura del sensor de temperatura en °C.
    2. Consigna del Controlador.
    3. Señal de control de la planta.
  - c. Creación de una plantilla base para la pantalla del operador.
  - d. Creación de la pantalla del Operador.
  - e. Puesta en marcha de la aplicación.

## PRESENTACIÓN

### Esquema de la práctica

A continuación, se presenta un esquema básico del sistema sobre el que se desarrollará la práctica, una planta de temperatura controlada por un PLC, y un PC conectado al PLC.

Software sobre el PC:  
Tia Portal v13-v14



## ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS DEL PLC

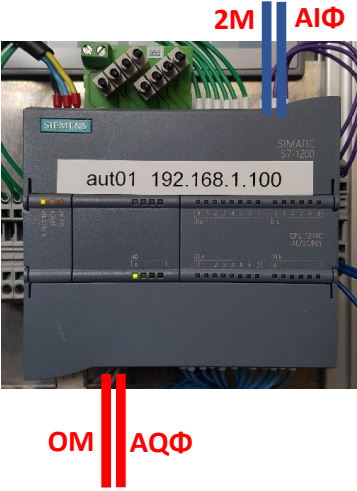
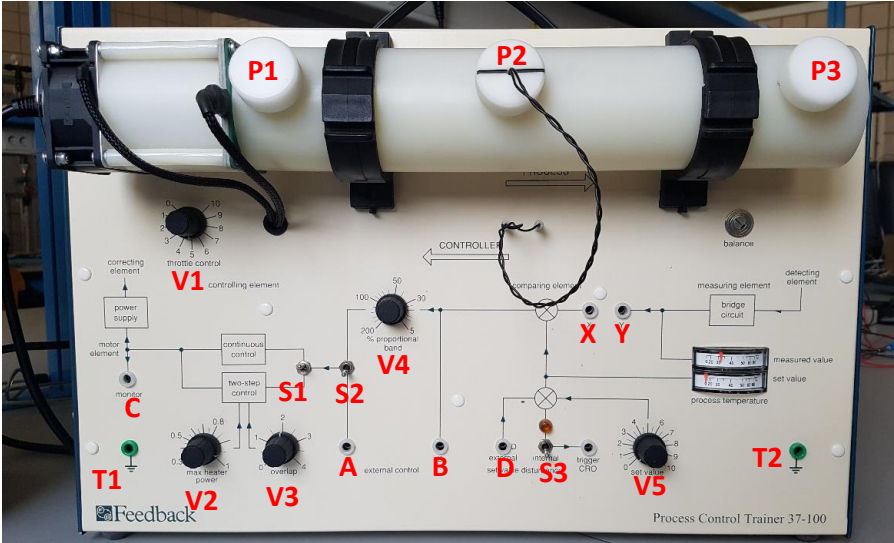
PARTES	FUNCIÓN
2M	Entrada analógica Común
AIΦ	Entrada de señal analógica
0M	Salida analógica Común
AQΦ	Salida de señal analógica

## ENTRADAS Y SALIDAS DE LA PLANTA

PARTES	FUNCIÓN
A	Entrada de tensión del controlador externo
Y	Señal de tensión del sensor de temperatura
P1, P2, P3	Posiciones del sensor de temperatura
S1	Seleccionador del tipo de control
T1, T2	Conexiones a tierra
V1	Regulador de la válvula de flujo de aire

Hay que mencionar que la planta de temperatura cuenta con la opción de trabajar con un controlador interno y otra con un externo, por lo que es necesario realizar esta configuración por medio del selector "S1".

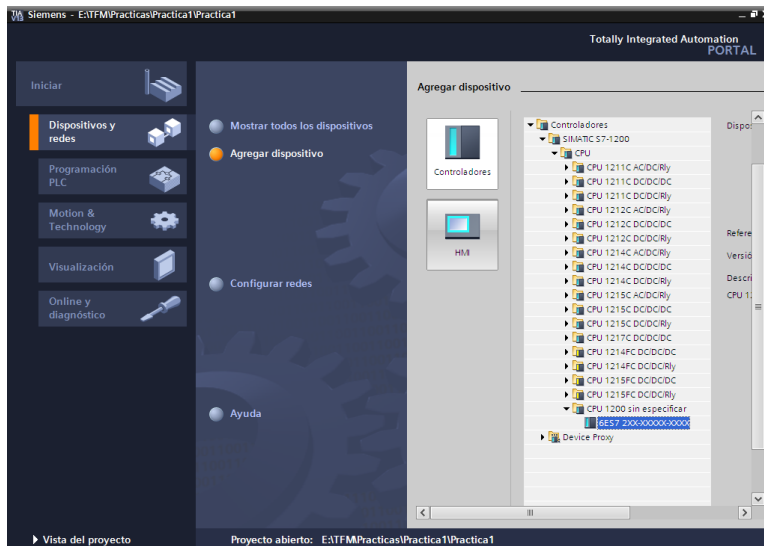
PLANO DE CONEXIÓN



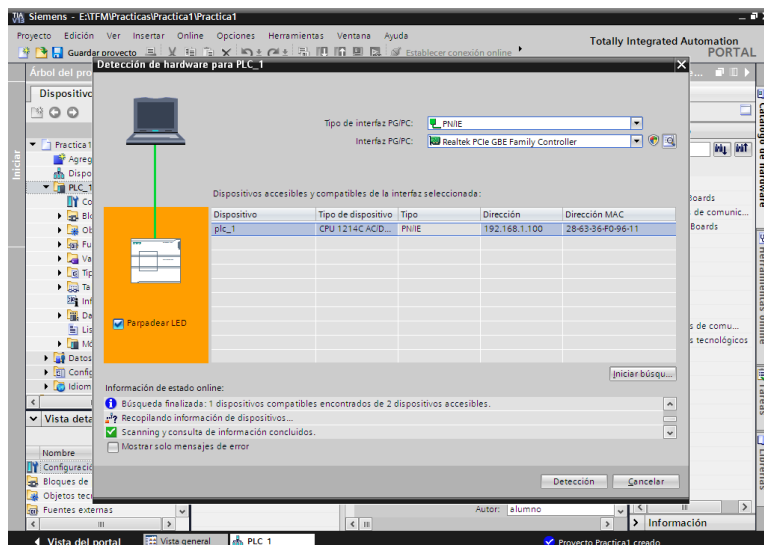
## HERRAMIENTAS DEL SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL PLC

### 1. TIA PORTAL: Puesta en marcha y creación de un nuevo proyecto.

- 1) Ejecutamos el software Tia Portal
- 2) Elegimos la ruta para guardar el proyecto, lo nombramos y lo creamos.
- 3) Seleccionamos el dispositivo PLC y para hacer uso del reconocimiento de referencia del PLC con el que se va a desarrollar la práctica se elige la opción "6ES7 2XX XXXX XXXX".



- 4) Determinamos el dispositivo. Al trabajar con una red donde existen más dispositivos, hay que asegurar que se trabaje con el adecuado verificando la dirección IP que aparece en pantalla con la etiqueta colocada en el dispositivo.

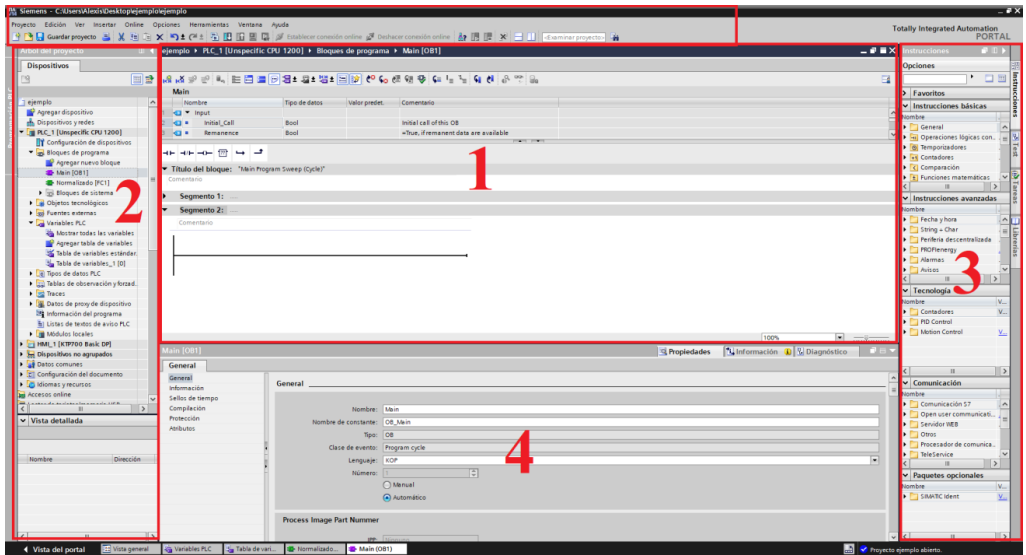




## 2. Interfaz de Programación de Tia Portal.

La interfaz de programación proporcionada por este software es realmente amigable con el usuario, y se divide en 4 áreas principales:

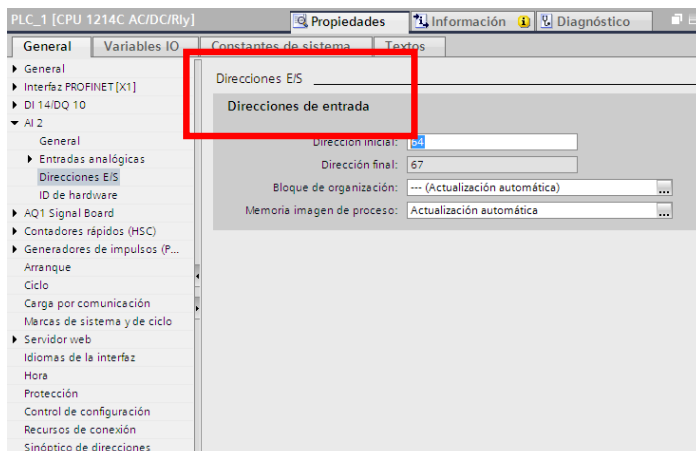
- 1) Área de trabajo.
- 2) Árbol del proyecto
- 3) Área de herramientas.
- 4) Área de propiedades



Para futuras referencias.

## 3. Configuración de PLC:

- 1) Es necesario conocer las direcciones asignadas para las entradas y salidas analógicas del PLC, para eso nos dirigimos a propiedades del PLC y buscamos la sección que muestre las direcciones que estos parámetros tienen preasignados.



- 2) La salida analógica del PLC permite elegir si se desea trabajar con tensión o corriente, así que también será necesario configurar este parámetro según el requerimiento de nuestra planta.

Canal0

Dirección de canal: QW80

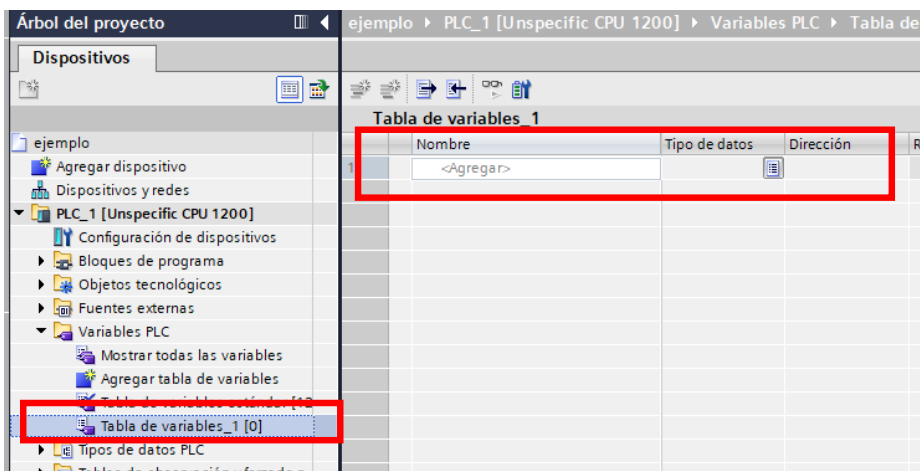
Tipo de salida analógica: Tensión

Rango de tensión: Tensión

Valor sustitutivo para canal en caso de transición de RUN a S... 0.000

#### 4. Tabla de Variables del programa.

- 1) Antes de comenzar con la programación se recomienda crear una tabla de variables donde se crean todas las necesarias para el desarrollo de la aplicación, para la creación de esta tabla nos dirigimos al área árbol del proyecto a la carpeta variables del PLC y agregamos una nueva tabla donde agregaremos todas las variables necesarias.



- 2) Las variables del PLC poseen 3 características el nombre, el tipo de dato y la dirección. A continuación, se muestra una tabla con las variables básicas que necesita el sistema, aunque cabe la posibilidad de requerir variables auxiliares.

Nombre	Tipo	Dirección	Variable
xxxx	Word	%IW64	Tensión del sensor de temperatura de la planta
xxxx	X	XXXX	Temperatura del sensor de la planta en °C
SetPoint	X	XXXX	Valor de la consigna del controlador
xxxx	X	XXXX	Señal Analógica del Controlador PID

## 5. Lógica de Programación.

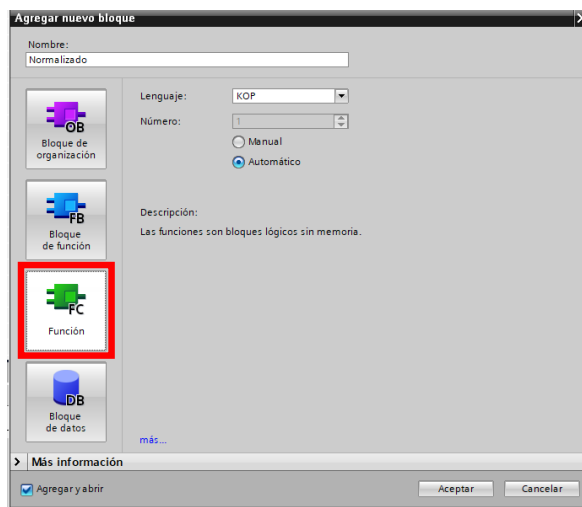
Tia Portal es un software diseñado para trabajar de manera optimizada utilizando un tipo de programación por “jerarquía”, esto quiere decir que existe un bloque de programa “MAIN” principal encargado de llamar a los bloques de función, por lo que en esta práctica se hará uso del objeto de programa “MAIN” exclusivamente para llamar a los bloques de función.

Para llamar a un bloque de función desde el “MAIN” solo hace falta arrastrarlo desde su ubicación en el área de árbol del proyecto hasta el área de trabajo del “MAIN”.

### 1) Creación de un bloque de Función

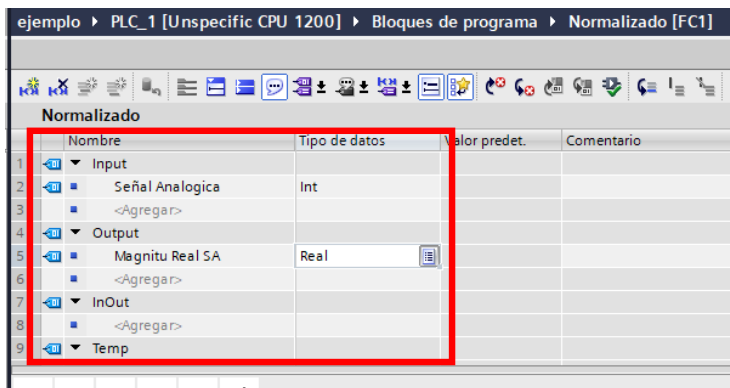
Un bloque de función es un tipo de objeto de programa al igual que “MAIN”, sin embargo y a diferencia de un objeto de programa estos no cuentan con una memoria por lo que sirven exclusivamente para desarrollar funciones.

Se crean agregando un nuevo objeto de programa y seleccionando el tipo función.

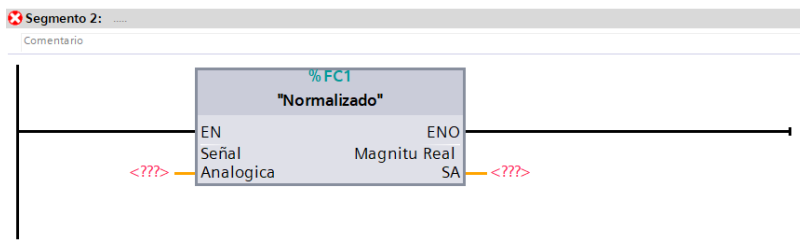


Es muy importante mencionar que la manera adecuada de trabajar con un bloque de función es establecer en primer lugar los parámetros de entrada y salida que tendrá este bloque, estos parámetros funcionan a modo de variables internas del bloque y poseen la característica del tipo de dato que va a almacenar, pero no cuentan con una dirección asignada por lo que solo podrán ser utilizadas dentro del propio bloque de función.

El área resaltada en la siguiente figura muestra donde se añaden los diferentes tipos de variables del bloque de función.

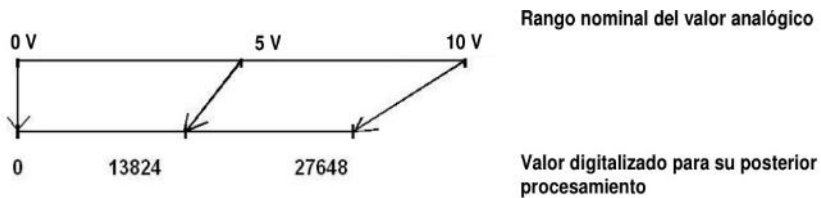


La siguiente figura muestra el bloque de función con entrada “Señal analógica” y salida magnitud, ya insertado en el bloque de programa “MAIN”, allí se aprecia como el bloque requiere de una entrada de “Señal analógica” y a como salida tiene una “Magnitud Real”.



## 6. Conversión de la variable de Tensión de entrada.

- 1) Al trabajar con una magnitud analógica con un PLC, el valor de tensión leído se convierte en información digital. El PLC S7-1200 posee 2 entradas analógicas integradas de voltaje con un rango de 0 a 10V, con un rango de 10 bits dando como resultado un rango total de 0 a 27648.

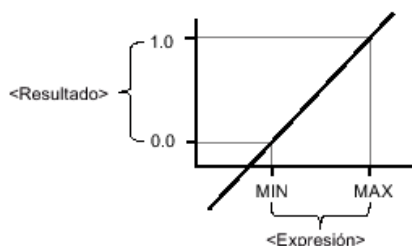


- 2) Al disponer de un valor de entrada analógico en forma digital, este debe normalizarse para que los valores numéricos coincidan con las magnitudes físicas, y para obtener una mayor exactitud siempre es recomendable trabajar con valores de tipo de datos REAL, ya que así se minimiza los errores de redondeo.

## 7. Instrucciones de NORM\_X y SCAL\_X

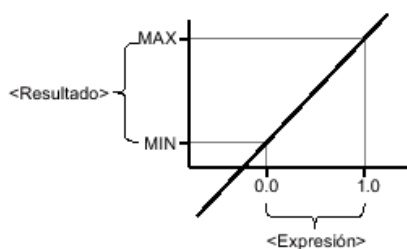
### 1) NORM\_X

La instrucción "Normalizar" normaliza el valor de la variable de la entrada VALUE representándolo en una escala lineal. Los parámetros MIN y MAX sirven para definir los límites de un rango de valores que se refleja en la escala.



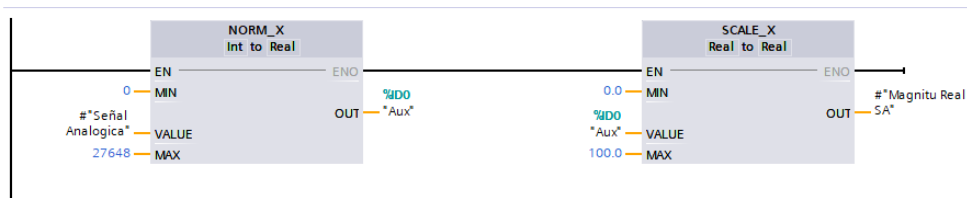
### 2) SCALE\_X

La instrucción "Escalar" permite escalar un número en coma flotante mapeándolo en un determinado rango de valores. El rango de valores se especifica con los parámetros MIN y MAX. El resultado de la escala es un entero.



### 3) Elaboración del programa de Normalizado de una señal analógica.

Un bloque de función de normalizado de una señal analógica debe contar con las 2 instrucciones "NORM\_X" y "SCALE\_X", así a la entrada se introduce una señal analógica digitalizada y se obtiene a la salida la magnitud en unidades reales.



#### 4) Tabla de referencia.

La siguiente tabla refleja datos obtenidos de la planta de temperatura bajo las siguientes condiciones.

- Regulador de caudal de la planta a la mitad de capacidad.
- Sensor de temperatura ubicado en la posición P3.
- Temperatura del ambiente, entre 20°C-25°C

Valor de la variable de Forzado	Tensión de salida del PLC (V)	Tensión del sensor de temperatura (V)	Temperatura de la Planta (°C)
0	0	2,35	29
1000	0,38	2,5	29,5
2000	0,76	2,6	30
5000	1,91	3,4	32
7500	2,86	4,1	34
10000	3,83	4,9	36
12500	4,79	5,7	38
15000	5,77	6,5	40
17500	6,75	7,2	42
20000	7,71	7,7	44
22500	8,68	8,4	45
25000	9,66	8,8	46
27500	10,78	9,4	47,5
30000	12,3	9,5	49

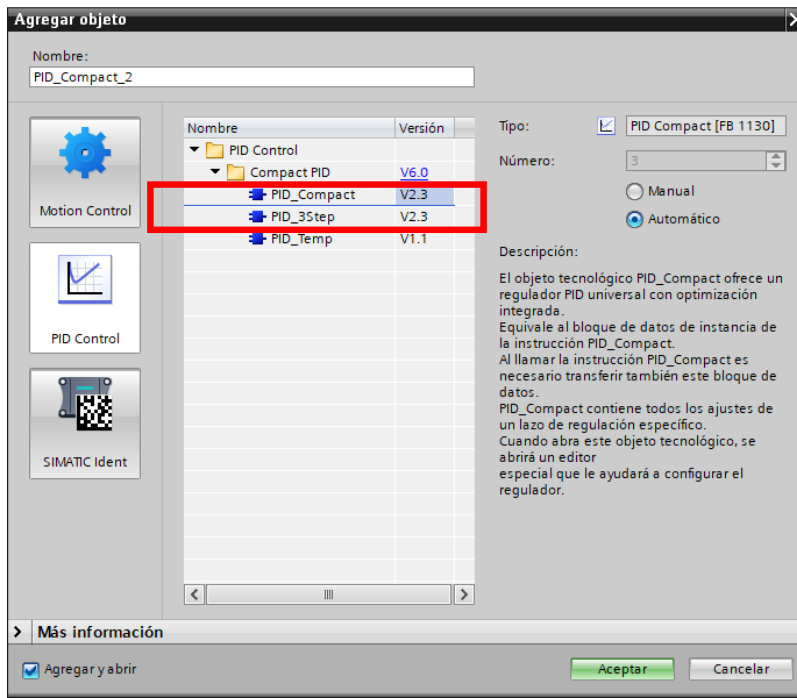
Los valores proporcionados en la tabla deben ser usado únicamente como referencia ya que es muy difícil volver a replicar las condiciones mencionadas, e incluso cabe la posibilidad de que varíen de planta a planta.

## 8. Creación del Controlador PID

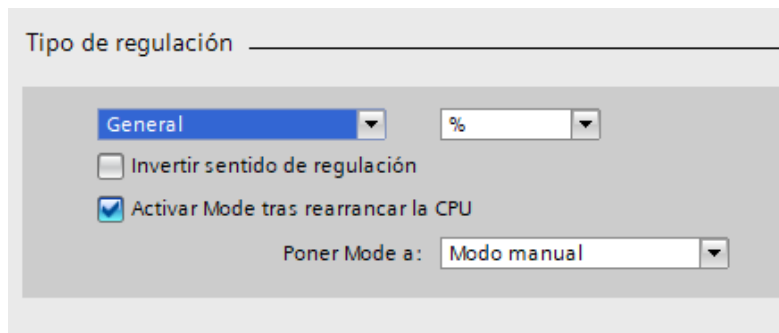
Es necesario elaborar un controlador que se encargue de gestionar la tensión proporcionada por la salida analógica del PLC, es por esto por lo que se hace uso del objeto tecnológico PID\_Compact el cuál se encarga de ejecutar un algoritmo de control interno, pero al tratarse de un objeto tecnológico no puede ejecutarse en un objeto de programa cualesquiera, requiere de un bloque de organización.

### 1) Objeto tecnológico PID\_Compact

Es necesario agregar el objeto tecnológico PID\_Compact y es recomendable nombrarlo de una manera que sea fácilmente identificable, esto es especialmente útil cuando se realizan aplicaciones que involucran una gran cantidad de líneas de programación.

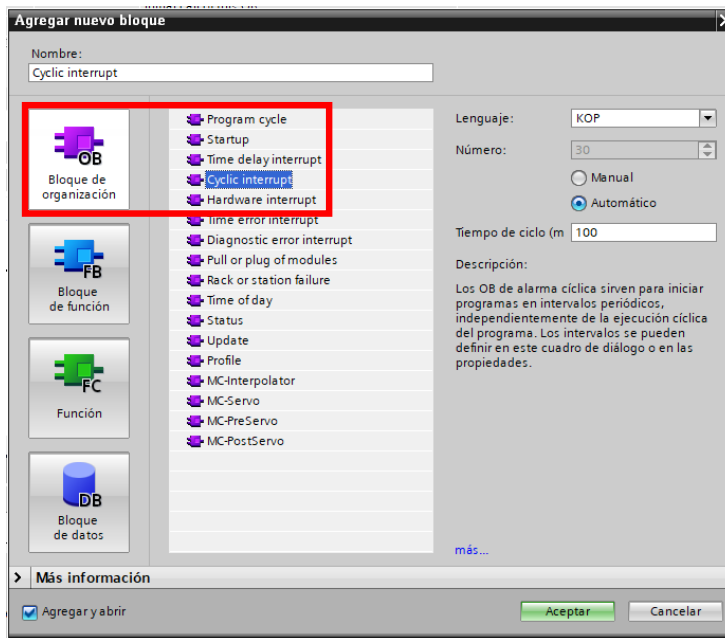


Es necesario establecer el tipo de regulación que se va a realizar con el objeto recién agregado.

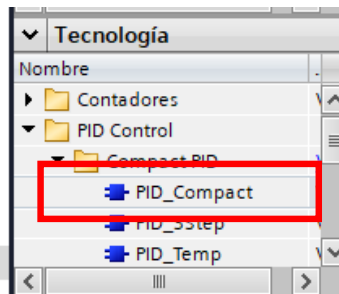


## 2) Bloque de organización de alarma cíclica.

Este tipo de objeto interrumpe la ejecución cíclica del programa en intervalos determinados, el tiempo de arranque del periodo corresponde al cambio de estar operativo de STOP a RUN. Para añadir este tipo de objeto simplemente agregamos un nuevo bloque de programa y seleccionamos la opción "Cyclic interrupt".



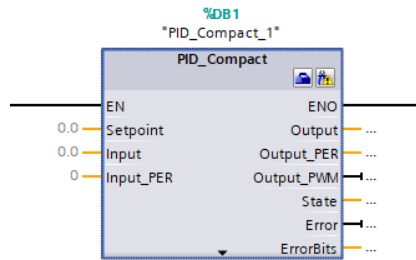
El PID\_Compact se agrega al bloque de alarma cíclica desde el área de herramientas, en la sección de tecnología, y simplemente se lo agrega al área de trabajo del bloque.



### 3) Parámetros del PID\_Compact

El objeto tecnológico PID\_Compact cuenta con 2 diferentes tipos de entradas "Input" está dedicada a procesar variables digitales ya normalizadas, mientras que "Input\_PER" se utiliza con señales analógicas digitalizadas que no se han normalizado.

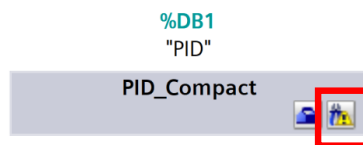




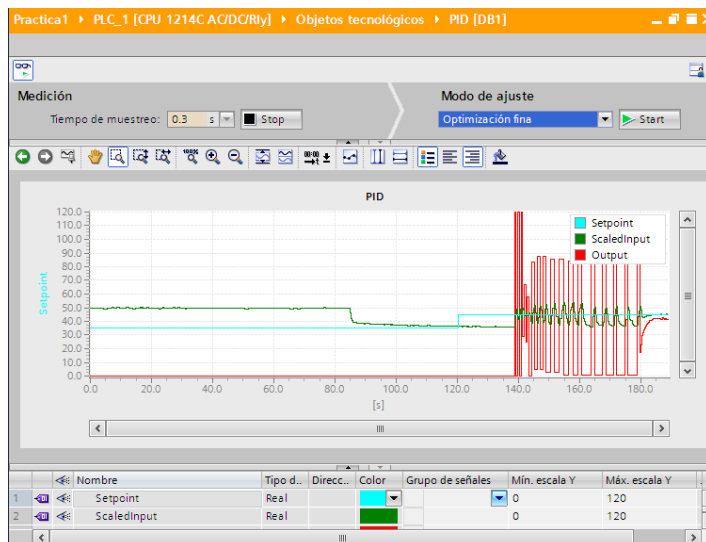
Como salidas el controlador posee 3 diferentes opciones la primera "Output" proporciona una variable de salida que necesita ser normalizada, la segunda es "Out\_PER" que genera una salida analógica digitalizada y como tercera opción "Output\_PWM" ofrece la posibilidad de trabajar como su nombre lo indica con una señal PWM.

#### 4) Visualizar las curvas de variables.

Al estar dentro de un bloque de programa de alarma cíclica, el controlador no requiere ser llamado desde el "MAIN", dicho esto el controlador PID se pone en marcha una vez se cargó el programa al PLC, entonces dentro del bloque de alarma cíclica en el mismo bloque PID\_Compact se elige la opción de puesta en servicio.



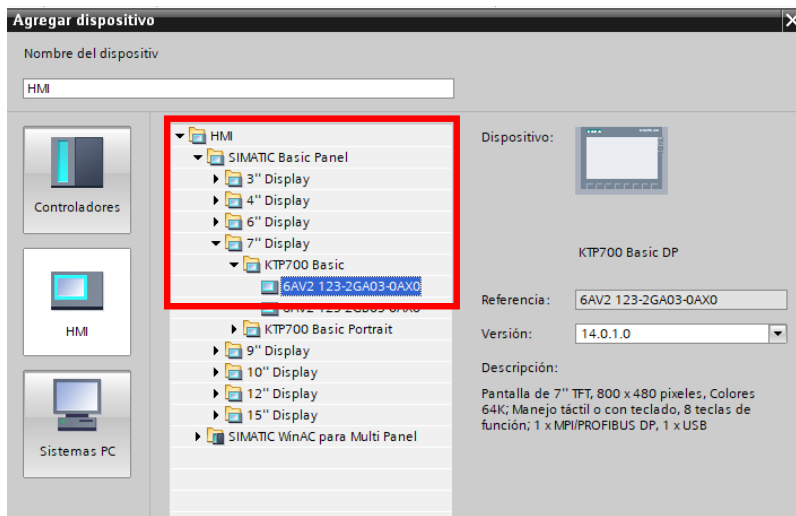
En esta pantalla es posible implementar los diferentes tipos de optimización con los que cuenta el controlador "Inicial" o "fina". La barra de progreso muestra el avance de la sintonización y en área de trabajo se grafican las curvas de respuestas de las variables del PID.



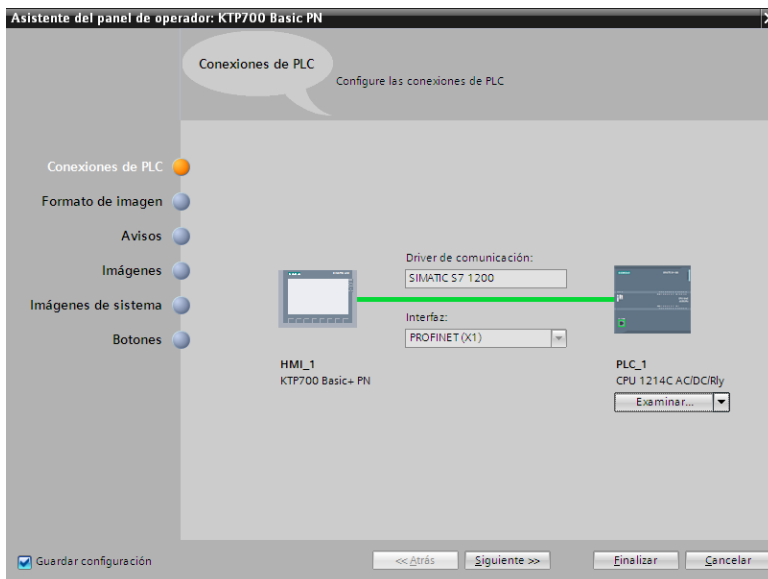
## HERRAMIENTAS DEL SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL HMI

### 1. Agregar un dispositivo HMI

Es necesario agregar el dispositivo HMI al proyecto sobre el que se está desarrollando el programa, esto se lo hace agregando un nuevo dispositivo dentro del área árbol del proyecto y seleccionando HMI.



A diferencia de lo que sucede con un PLC donde se puede detectar el dispositivo por medio de la red de trabajo, aquí hay que seleccionar la referencia específica del dispositivo, esta referencia se encuentra en una etiqueta colocada en la parte posterior del panel.



Al agregarlo se despliega un asistente que permite establecer ciertas configuraciones iniciales, que luego pueden ser modificadas. Pero lo más importante de este asistente es que permite establecer la conexión del panel con el PLC, una vez más hay que verificar las direcciones IP de los dispositivos.

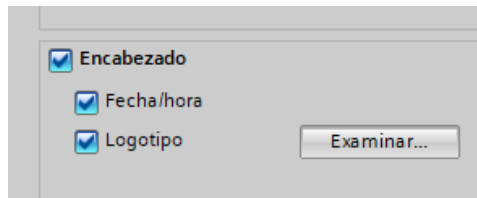
El HMI debe estar en la misma subred de trabajo que el PLC, esto se debe a que la comunicación entre los 2 dispositivos se realiza por medio de una comunicación PROFINET.

## 2. Asistente del panel del operador.

El asistente permite la posibilidad de establecer condiciones iniciales del programa a desarrollarse, conexión de PLC, formato de Imagen, avisos, imágenes, imágenes del sistema y botones. Son todas las características que podemos establecer con ayuda del asistente.

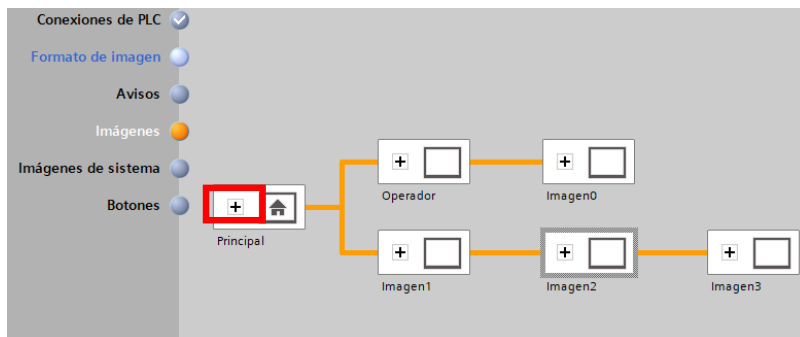
### 1) Formato de imagen

Permite la posibilidad de mostrar las opciones de colocar un encabezado personalizado con logotipo personalizado y hora/fecha.



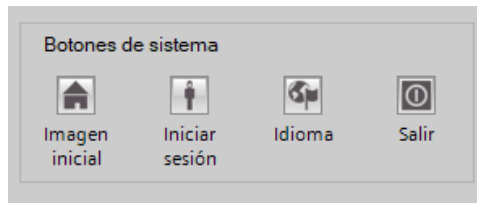
### 2) Imágenes.

Desde el apartado imágenes resulta muy fácil y didáctico la creación de la estructura que llevará el programa, simplemente con presionar el símbolo de "+" se crea una nueva imagen.



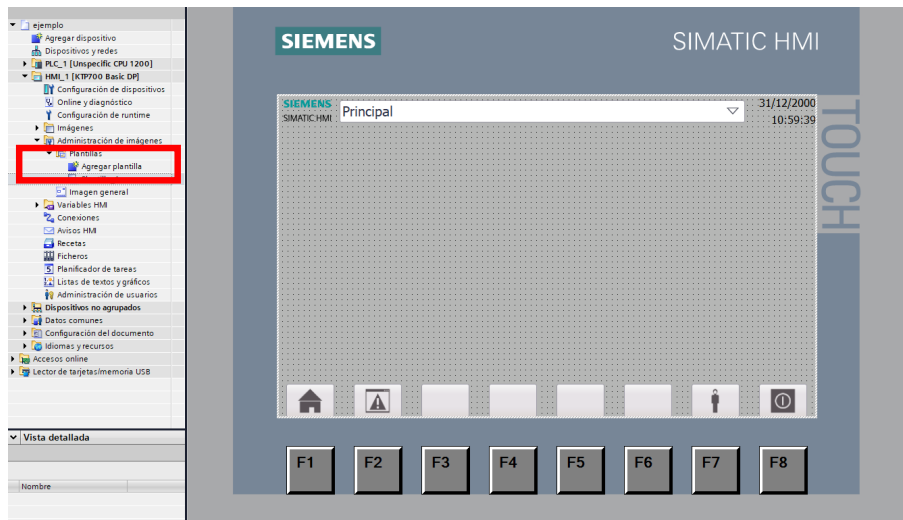
### 3) Botones

Permite añadir botones con funciones predefinidas a la plantilla del sistema.



### 3. Plantilla.

El sistema funciona a manera de imágenes sobre puestas, por debajo de todas las imágenes que conforman el sistema se encuentra una plantilla base, los elementos como botones o indicadores colocados en esta plantilla aparecerán en todas las imágenes del sistema.



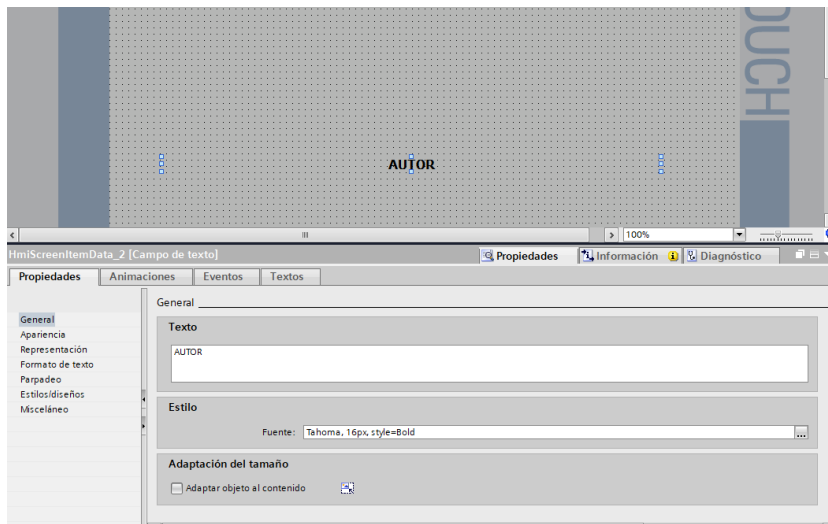
### 4. Tabla de variables del HMI

Es necesario establecer una conexión entre las variables del HMI y las del PLC, este enlace se establece por medio de una tabla de variables del HMI, las variables del HMI tienen las características de nombre, tipo de variable conexión y la variable del PLC con la que se enlaza.

Tabla de variables_1					
Nombre	Tipo de datos	Conexión	Nombre del PLC	Variable PLC	
Setpoint	Int	HMI_Conexi...	PLC_1	SetPoint	
<Agregar>					

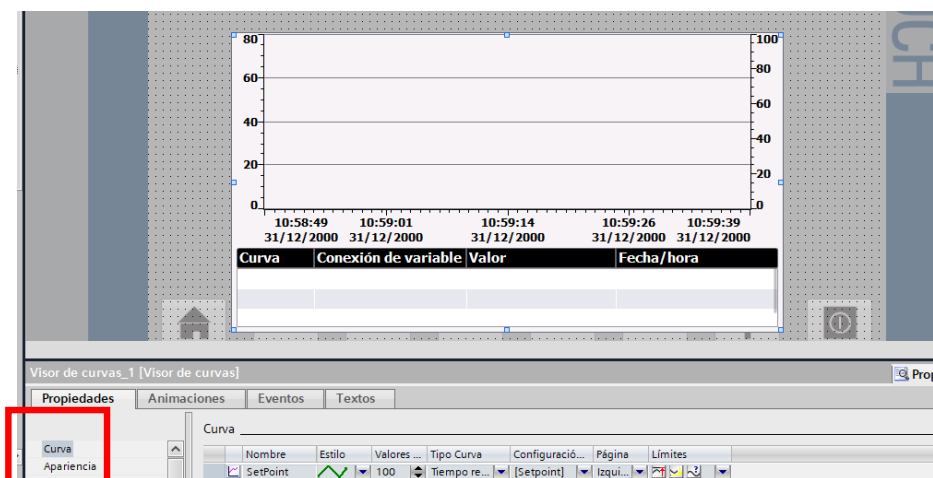
## 5. Añadir elementos

En el área de herramientas se localizan todos los elementos que se pueden usar para crear el HMI, los cuales se añaden simplemente arrastrándolos hacia el área de trabajo, la configuración de cada elemento se realiza en el área de propiedades.



## 6. Visor de curvas

El visor de curvas es un elemento de control que permite visualizar las curvas descritas por las variables asignadas. Para asociar las variables a este elemento es necesario ubicarse en el área de propiedades específicamente en la sección de curva, aquí se despliega una pantalla donde se escribe el nombre de la variable que se desea graficar.





## Apéndice F

# Guía de práctica de formación 3

---

## **OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA**

- A. Reconocimiento y conexonado de la planta de temperatura con el PLC.
- B. Creación de un nuevo proyecto en Tia Portal y configuración del PLC
- C. Creación de la tabla de variables.
- D. Programación de escalado de la señal de entrada analógica.
- E. Creación de una tabla de forzado permanente.
- F. Programación del lazo de control PID mediante PLC.

## **DESARROLLO DE LA PRÁCTICA**

- 1. Presentación del esquema de la planta
- 2. Realizar el plano de conexión de la planta al PLC.
- 3. Seguir el procedimiento del desarrollo de software.
- 4. Seguir el procedimiento de desarrollo de pantalla de operador.
- 5. Auto sintonizado del controlador PID

## **REQUERIMIENTOS DE LA PRÁCTICA**

- 1. Tabla de Variables del Programa
- 2. Bloque de Función de Normalizado y Escalado de la señal de tensión del sensor de Temperatura
- 3. Bloque de Alarma cíclica para el controlador PID
- 4. Controlador PID de la planta
- 5. Bloque de Programa MAIN
- 6. HMI
  - 1) Pantalla principal que presente el nombre del autor de la práctica y que permita el acceso a la pantalla de operador a través de un botón personalizado.
  - 2) Pantalla de operador que permita muestre las curvas de las variables del controlador PID.

## **PASOS A SEGUIR PARA EL DESARROLLO DE SOFTWARE**

- 1. Crear un nuevo proyecto en el Tia Portal
  - 1. Configurar el PLC.
  - 2. Crear una tabla de variables que posea las siguientes variables
    - a. Tensión del sensor de temperatura.
    - b. Temperatura del sensor de temperatura en °C.
    - c. Consigna del Controlador.
    - d. Señal de control de la planta.
    - e. Variables Auxiliares requeridas.
  - 3. Creación de un bloque de función de normalizado y escalado de la señal de tensión del sensor de temperatura.
  - 4. Creación del controlador PID
    - a. Alarma Cíclica
      - 1. Creación del Objeto tecnológico PID\_Compact
  - 5. Creación de los Bloques de Función de normalizado y escalado de la señal de control del PID:
  - 6. Desarrollo del objeto de programa MAIN.
  - 7. Puesta en marcha del sistema y auto sintonizado del controlador



## PASOS A SEGUIR PARA EL DESARROLLO DE LA PANTALLA DE OPERADOR

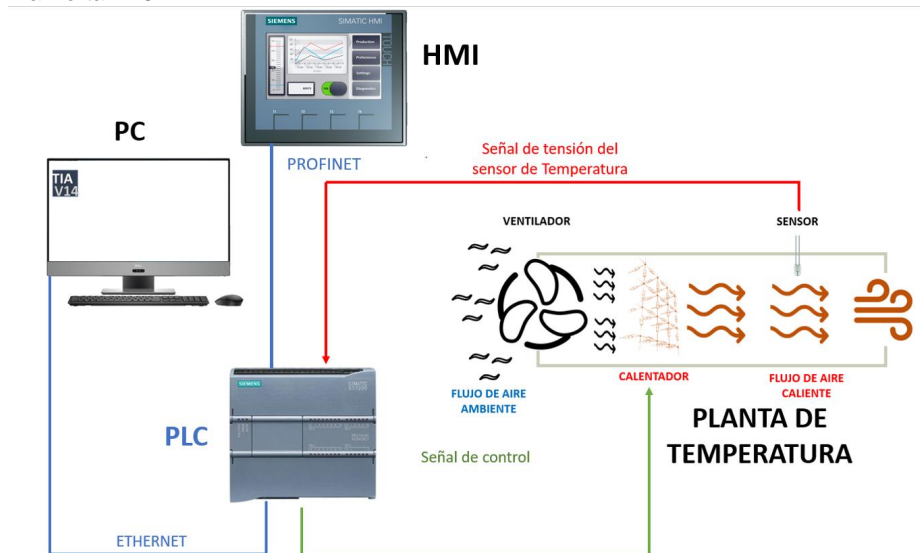
1. Agregar un dispositivo HMI al proyecto.
  - a. Configurar el HMI a través de su asistente.
  - b. Crear una tabla de variables del HMI que posea las siguientes variables:
    1. Temperatura del sensor de temperatura en °C.
    2. Consigna del Controlador.
    3. Señal de control de la planta.
  - c. Creación de una plantilla base para la pantalla del operador.
  - d. Creación de la pantalla del Operador.
  - e. Puesta en marcha de la aplicación.

## PRESENTACIÓN

### Esquema de la práctica

A continuación, se presenta un esquema básico del sistema sobre el que se desarrollará la práctica, una planta de temperatura controlada por un PLC, y un PC conectado al PLC.

Software sobre el PC:  
Tia Portal v13-v14



## ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS DEL PLC

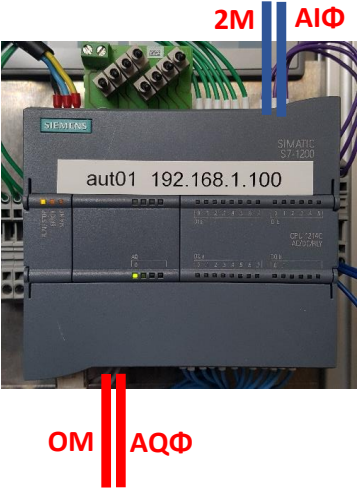
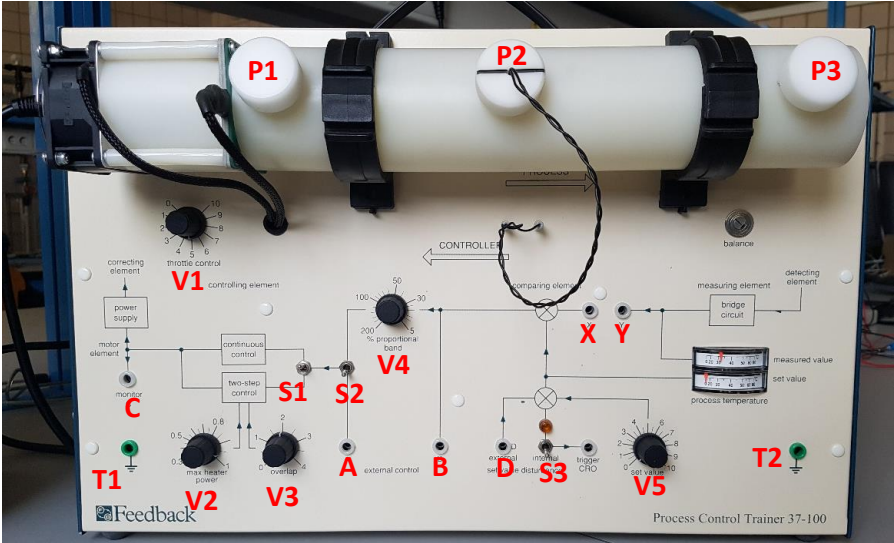
PARTES	FUNCIÓN
2M	Entrada analógica Común
AIΦ	Entrada de señal analógica
0M	Salida analógica Común
AQΦ	Salida de señal analógica

## ENTRADAS Y SALIDAS DE LA PLANTA

PARTES	FUNCIÓN
A	Entrada de tensión del controlador externo
Y	Señal de tensión del sensor de temperatura
P1, P2, P3	Posiciones del sensor de temperatura
S1	Seleccionador del tipo de control
T1, T2	Conexiones a tierra
V1	Regulador de la válvula de flujo de aire

Hay que mencionar que la planta de temperatura cuenta con la opción de trabajar con un controlador interno y otra con un externo, por lo que es necesario realizar esta configuración por medio del selector "S1".

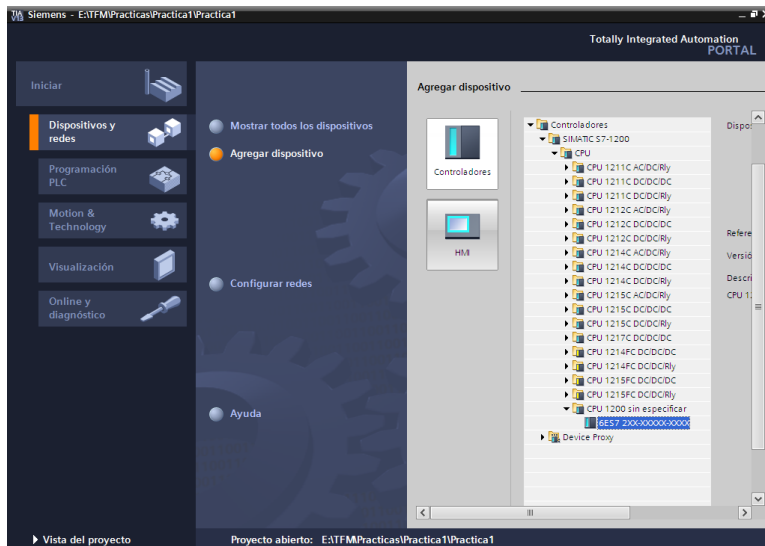
PLANO DE CONEXIÓN



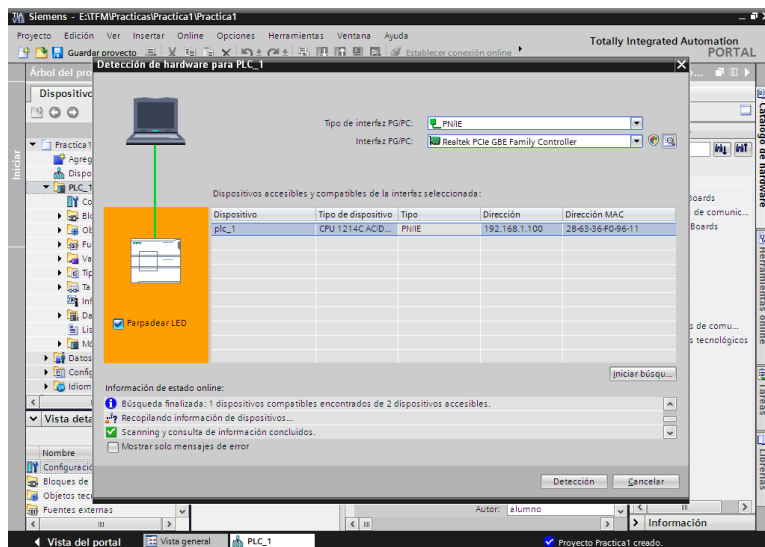
## HERRAMIENTAS DEL SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL PLC

### 1. TIA PORTAL: Puesta en marcha y creación de un nuevo proyecto.

- 1) Ejecutamos el software Tia Portal
- 2) Elegimos la ruta para guardar el proyecto, lo nombramos y lo creamos.
- 3) Seleccionamos el dispositivo PLC y para hacer uso del reconocimiento de referencia del PLC con el que se va a desarrollar la práctica se elige la opción "6ES7 2XX XXXX XXXX".



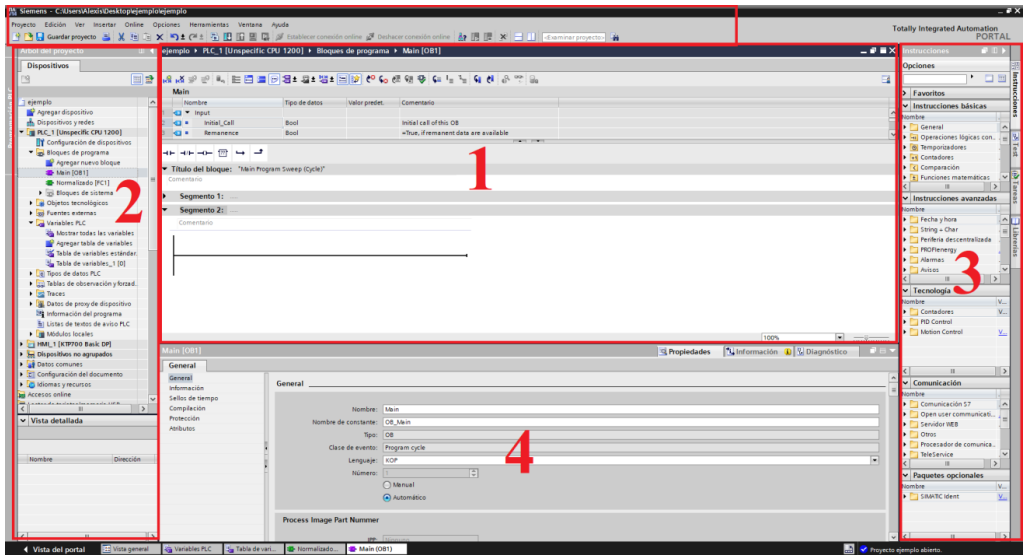
- 4) Determinamos el dispositivo. Al trabajar con una red donde existen más dispositivos, hay que asegurar que se trabaje con el adecuado verificando la dirección IP que aparece en pantalla con la etiqueta colocada en el dispositivo.



## 2. Interfaz de Programación de Tia Portal.

La interfaz de programación proporcionada por este software es realmente amigable con el usuario, y se divide en 4 áreas principales:

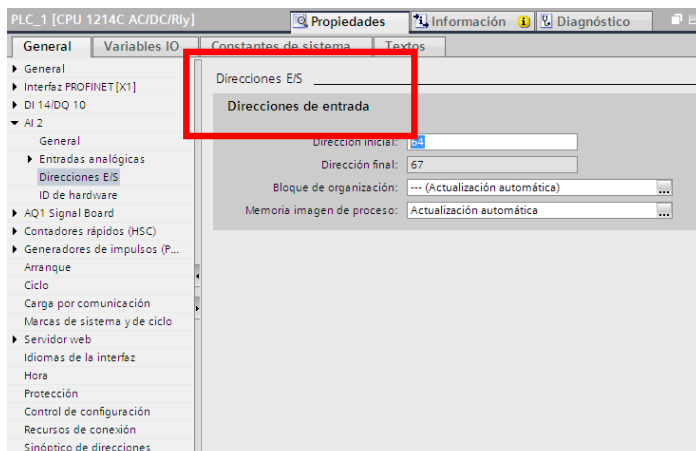
- 1) Área de trabajo.
- 2) Árbol del proyecto
- 3) Área de herramientas.
- 4) Área de propiedades



Para futuras referencias.

## 3. Configuración de PLC:

- 1) Es necesario conocer las direcciones asignadas para las entradas y salidas analógicas del PLC, para eso nos dirigimos a propiedades del PLC y buscamos la sección que muestre las direcciones que estos parámetros tienen preasignados.



- 2) La salida analógica del PLC permite elegir si se desea trabajar con tensión o corriente, así que también será necesario configurar este parámetro según el requerimiento de nuestra planta.

Canal0

Dirección de canal: QW80

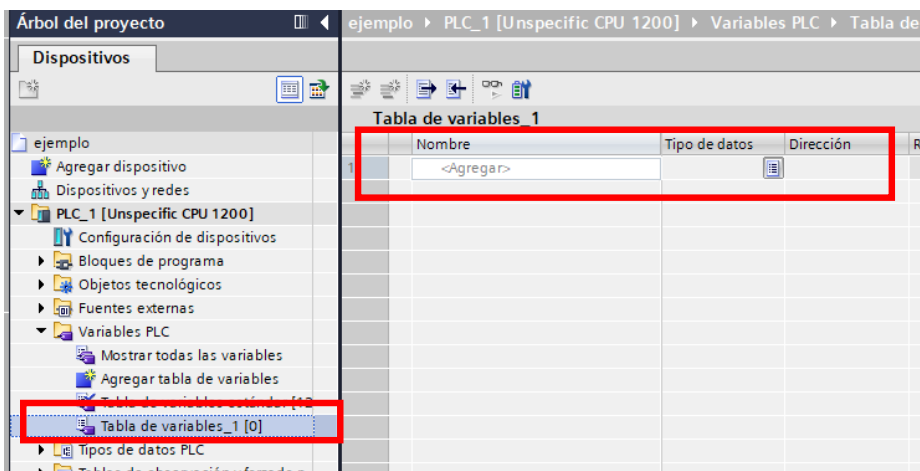
Tipo de salida analógica: Tensión

Rango de tensión: Tensión

Valor sustitutivo para canal en caso de transición de RUN a S... 0.000

#### 4. Tabla de Variables del programa.

- 1) Antes de comenzar con la programación se recomienda crear una tabla de variables donde se crean todas las necesarias para el desarrollo de la aplicación, para la creación de esta tabla nos dirigimos al área árbol del proyecto a la carpeta variables del PLC y agregamos una nueva tabla donde agregaremos todas las variables necesarias.



- 2) Las variables del PLC poseen 3 características el nombre, el tipo de dato y la dirección. A continuación, se muestra una tabla con las variables básicas que necesita el sistema, aunque cabe la posibilidad de requerir variables auxiliares.

Nombre	Tipo	Dirección	Variable
xxxx	Word	%IW64	Tensión del sensor de temperatura de la planta
xxxx	X	XXXX	Temperatura del sensor de la planta en °C
SetPoint	X	XXXX	Valor de la consigna del controlador
xxxx	X	XXXX	Señal Analógica del Controlador PID

## 5. Lógica de Programación.

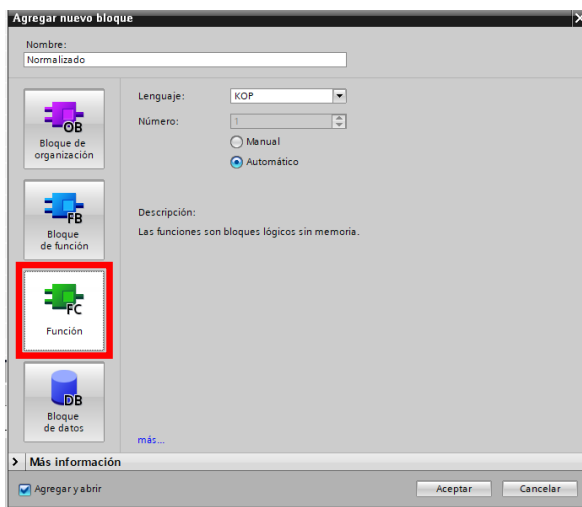
Tia Portal es un software diseñado para trabajar de manera optimizada utilizando un tipo de programación por “jerarquía”, esto quiere decir que existe un bloque de programa “MAIN” principal encargado de llamar a los bloques de función, por lo que en esta práctica se hará uso del objeto de programa “MAIN” exclusivamente para llamar a los bloques de función.

Para llamar a un bloque de función desde el “MAIN” solo hace falta arrastrarlo desde su ubicación en el área de árbol del proyecto hasta el área de trabajo del “MAIN”.

### 1) Creación de un bloque de Función

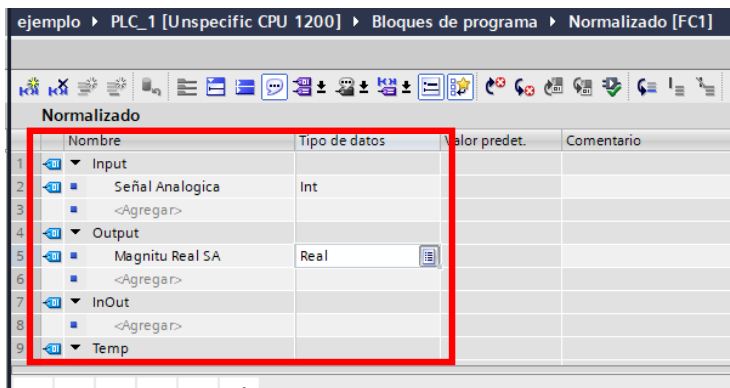
Un bloque de función es un tipo de objeto de programa al igual que “MAIN”, sin embargo y a diferencia de un objeto de programa estos no cuentan con una memoria por lo que sirven exclusivamente para desarrollar funciones.

Se crean agregando un nuevo objeto de programa y seleccionando el tipo función.

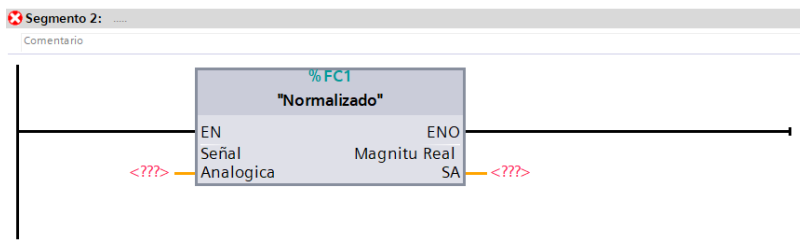


Es muy importante mencionar que la manera adecuada de trabajar con un bloque de función es establecer en primer lugar los parámetros de entrada y salida que tendrá este bloque, estos parámetros funcionan a modo de variables internas del bloque y poseen la característica del tipo de dato que va a almacenar, pero no cuentan con una dirección asignada por lo que solo podrán ser utilizadas dentro del propio bloque de función.

El área resaltada en la siguiente figura muestra donde se añaden los diferentes tipos de variables del bloque de función.

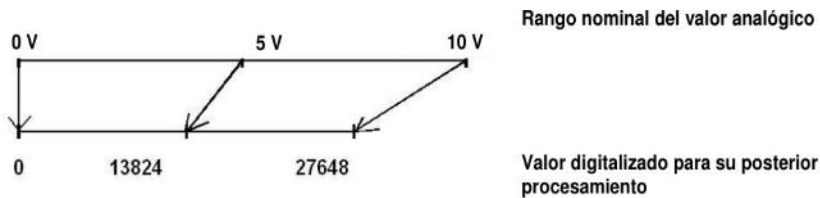


La siguiente figura muestra el bloque de función con entrada “Señal analógica” y salida magnitud, ya insertado en el bloque de programa “MAIN”, allí se aprecia como el bloque requiere de una entrada de “Señal analógica” y a como salida tiene una “Magnitud Real”.



## 6. Conversión de la variable de Tensión de entrada.

- 1) Al trabajar con una magnitud analógica con un PLC, el valor de tensión leído se convierte en información digital. El PLC S7-1200 posee 2 entradas analógicas integradas de voltaje con un rango de 0 a 10V, con un rango de 10 bits dando como resultado un rango total de 0 a 27648.



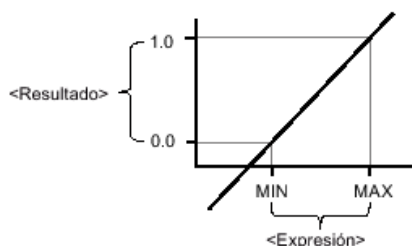
- 2) Al disponer de un valor de entrada analógico en forma digital, este debe normalizarse para que los valores numéricos coincidan con las magnitudes físicas, y para obtener una mayor exactitud siempre es recomendable trabajar con valores de tipo de datos REAL, ya que así se minimiza los errores de redondeo.



## 7. Instrucciones de NORM\_X y SCAL\_X

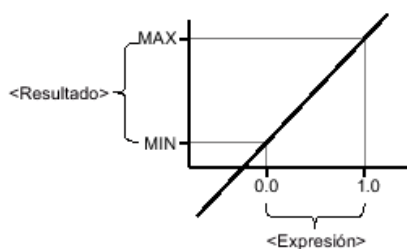
### 1) NORM\_X

La instrucción "Normalizar" normaliza el valor de la variable de la entrada VALUE representándolo en una escala lineal. Los parámetros MIN y MAX sirven para definir los límites de un rango de valores que se refleja en la escala.



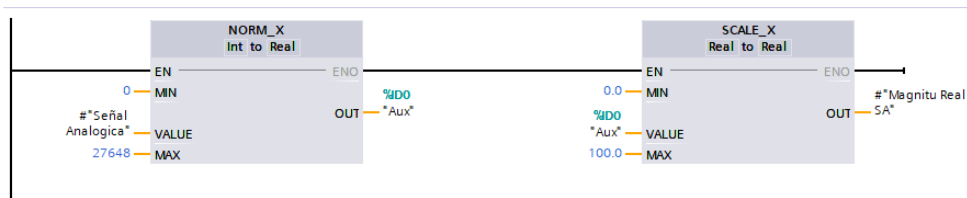
### 2) SCALE\_X

La instrucción "Escalar" permite escalar un número en coma flotante mapeándolo en un determinado rango de valores. El rango de valores se especifica con los parámetros MIN y MAX. El resultado de la escala es un entero.



### 3) Elaboración del programa de Normalizado de una señal analógica.

Un bloque de función de normalizado de una señal analógica debe contar con las 2 instrucciones "NORM\_X" y "SCALE\_X", así a la entrada se introduce una señal analógica digitalizada y se obtiene a la salida la magnitud en unidades reales.



#### 4) Tabla de referencia.

La siguiente tabla refleja datos obtenidos de la planta de temperatura bajo las siguientes condiciones.

- Regulador de caudal de la planta a la mitad de capacidad.
- Sensor de temperatura ubicado en la posición P3.
- Temperatura del ambiente, entre 20°C-25°C

Valor de la variable de Forzado	Tensión de salida del PLC (V)	Tensión del sensor de temperatura (V)	Temperatura de la Planta (°C)
0	0	2,35	29
1000	0,38	2,5	29,5
2000	0,76	2,6	30
5000	1,91	3,4	32
7500	2,86	4,1	34
10000	3,83	4,9	36
12500	4,79	5,7	38
15000	5,77	6,5	40
17500	6,75	7,2	42
20000	7,71	7,7	44
22500	8,68	8,4	45
25000	9,66	8,8	46
27500	10,78	9,4	47,5
30000	12,3	9,5	49

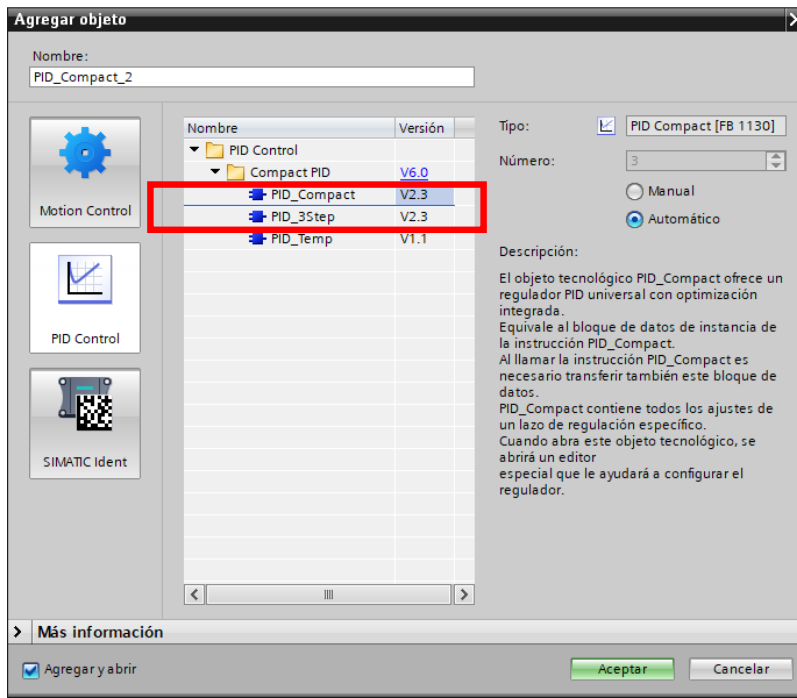
Los valores proporcionados en la tabla deben ser usado únicamente como referencia ya que es muy difícil volver a replicar las condiciones mencionadas, e incluso cabe la posibilidad de que varíen de planta a planta.

## 8. Creación del Controlador PID

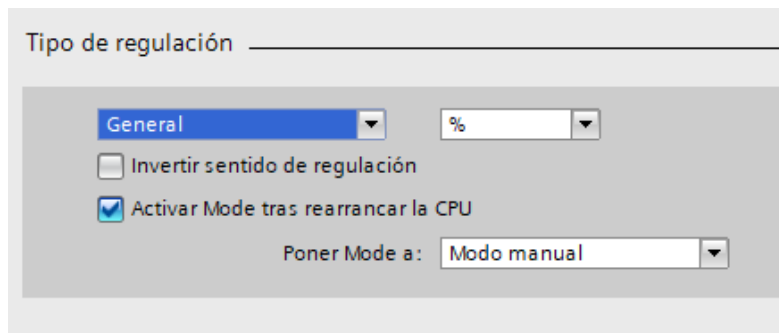
Es necesario elaborar un controlador que se encargue de gestionar la tensión proporcionada por la salida analógica del PLC, es por esto por lo que se hace uso del objeto tecnológico PID\_Compact el cuál se encarga de ejecutar un algoritmo de control interno, pero al tratarse de un objeto tecnológico no puede ejecutarse en un objeto de programa cualesquiera, requiere de un bloque de organización.

### 1) Objeto tecnológico PID\_Compact

Es necesario agregar el objeto tecnológico PID\_Compact y es recomendable nombrarlo de una manera que sea fácilmente identificable, esto es especialmente útil cuando se realizan aplicaciones que involucran una gran cantidad de líneas de programación.

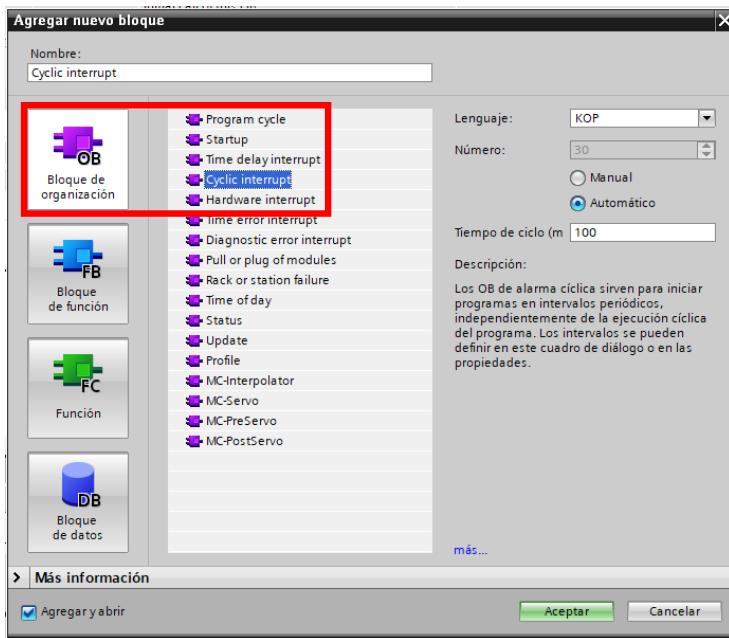


Es necesario establecer el tipo de regulación que se va a realizar con el objeto recién agregado.

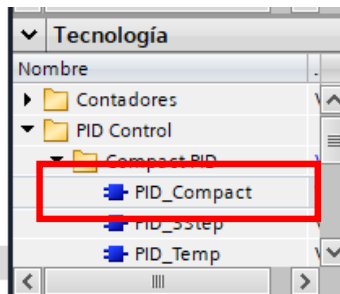


## 2) Bloque de organización de alarma cíclica.

Este tipo de objeto interrumpe la ejecución cíclica del programa en intervalos determinados, el tiempo de arranque del periodo corresponde al cambio de estar operativo de STOP a RUN. Para añadir este tipo de objeto simplemente agregamos un nuevo bloque de programa y seleccionamos la opción "Cyclic interrupt".

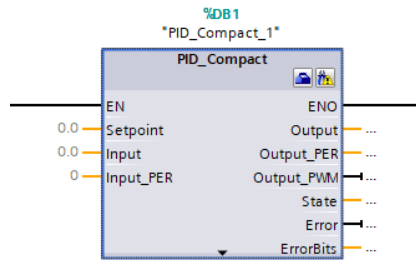


El PID\_Compact se agrega al bloque de alarma cíclica desde el área de herramientas, en la sección de tecnología, y simplemente se lo agrega al área de trabajo del bloque.



### 3) Parámetros del PID\_Compact

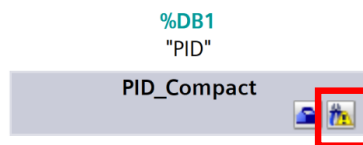
El objeto tecnológico PID\_Compact cuenta con 2 diferentes tipos de entradas "Input" está dedicada a procesar variables digitales ya normalizadas, mientras que "Input\_PER" se utiliza con señales analógicas digitalizadas que no se han normalizado.



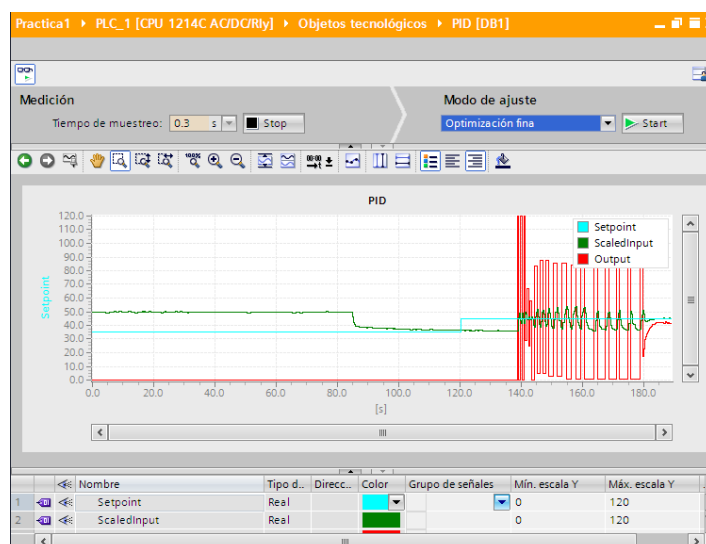
Como salidas el controlador posee 3 diferentes opciones la primera "Output" proporciona una variable de salida que necesita ser normalizada, la segunda es "Out\_PER" que genera una salida analógica digitalizada y como tercera opción "Output\_PWM" ofrece la posibilidad de trabajar como su nombre lo indica con una señal PWM.

#### 4) Auto sintonizado del PID

Al estar dentro de un bloque de programa de alarma cíclica, el controlador no requiere ser llamado desde el "MAIN", dicho esto el controlador PID se pone en marcha una vez se cargó el programa al PLC, entonces dentro del bloque de alarma cíclica en el mismo bloque PID\_Compact se elige la opción de puesta en servicio.



En esta pantalla es posible implementar los diferentes tipos de optimización con los que cuenta el controlador "Inicial" o "fina". La barra de progreso muestra el avance de la sintonización y en área de trabajo se grafican las curvas de respuestas de las variables del PID.

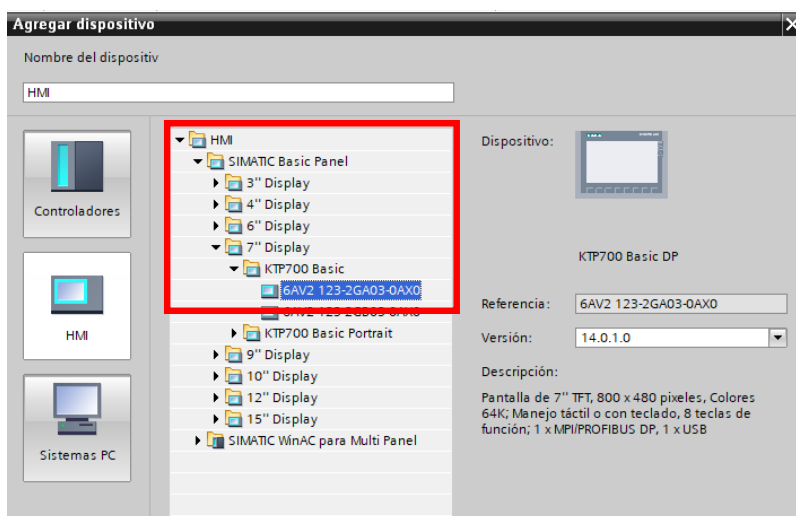


Es recomendable realizar la optimización inicial y luego la optimización fina para que el proceso de auto sintonizado y control del PID tenga mejores resultados.

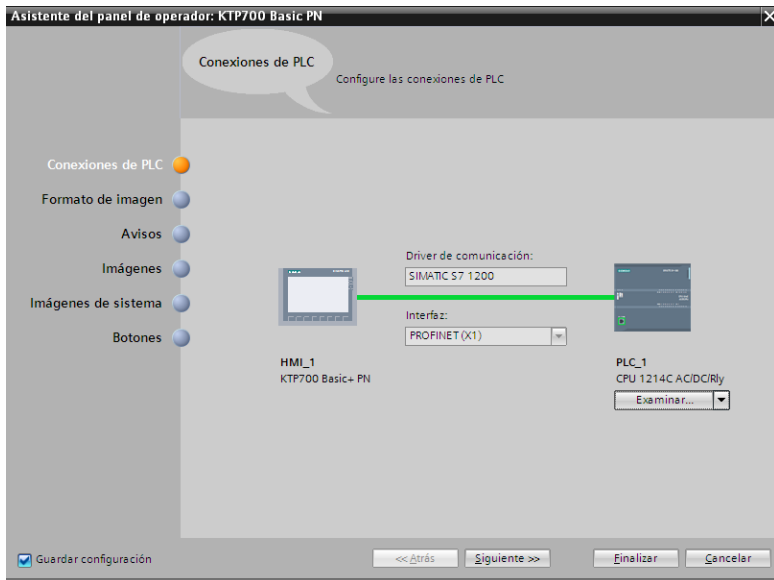
## HERRAMIENTAS DEL SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL HMI

### 1. Agregar un dispositivo HMI

Es necesario agregar el dispositivo HMI al proyecto sobre el que se está desarrollando el programa, esto se lo hace agregando un nuevo dispositivo dentro del área árbol del proyecto y seleccionando HMI.



A diferencia de lo que sucede con un PLC donde se puede detectar el dispositivo por medio de la red de trabajo, aquí hay que seleccionar la referencia específica del dispositivo, esta referencia se encuentra en una etiqueta colocada en la parte posterior del panel.



Al agregarlo se despliega un asistente que permite establecer ciertas configuraciones iniciales, que luego pueden ser modificadas. Pero lo más importante de este asistente es que permite establecer la conexión del panel con el PLC, una vez más hay que verificar las direcciones IP de los dispositivos.

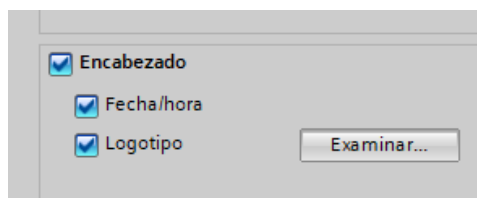
El HMI debe estar en la misma subred de trabajo que el PLC, esto se debe a que la comunicación entre los 2 dispositivos se realiza por medio de una comunicación PROFINET.

## 2. Asistente del panel del operador.

El asistente permite la posibilidad de establecer condiciones iniciales del programa a desarrollarse, conexión de PLC, formato de Imagen, avisos, imágenes, imágenes del sistema y botones. Son todas las características que podemos establecer con ayuda del asistente.

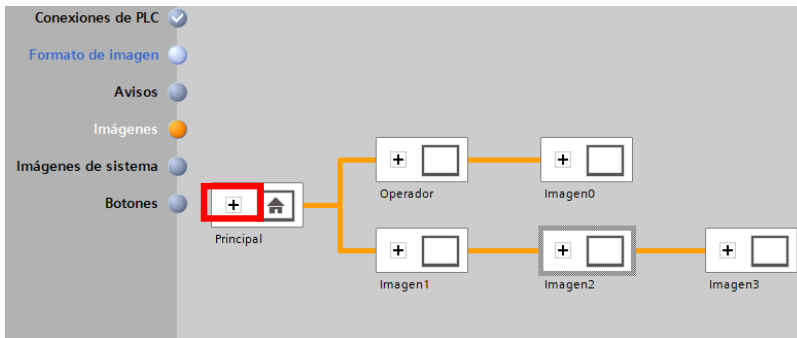
### 1) Formato de imagen

Permite la posibilidad de mostrar las opciones de colocar un encabezado personalizado con logotipo personalizado y hora/fecha.



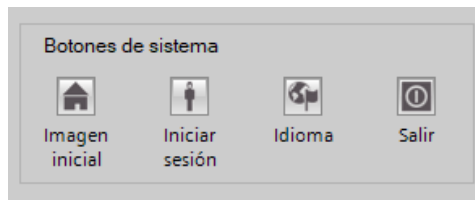
### 2) Imágenes.

Desde el apartado imágenes resulta muy fácil y didáctico la creación de la estructura que llevará el programa, simplemente con presionar el símbolo de "+" se crea una nueva imagen.



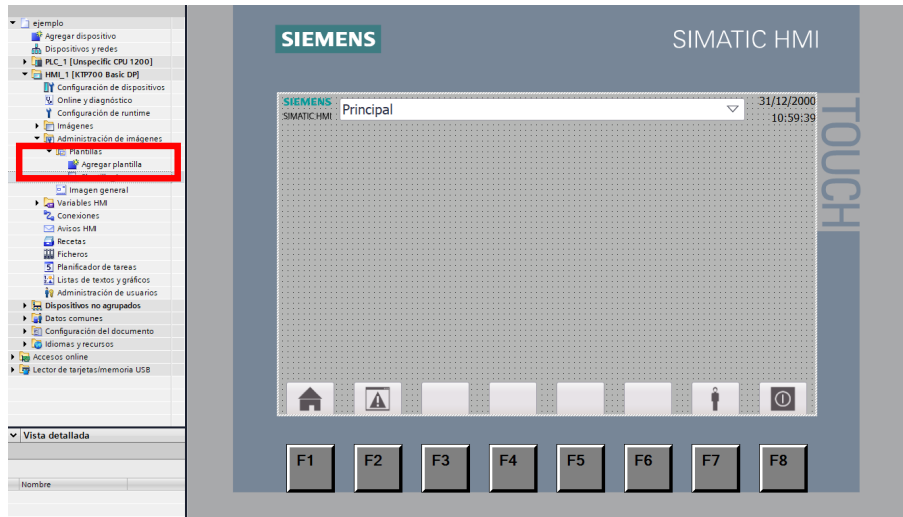
### 3) Botones

Permite añadir botones con funciones predefinidas a la plantilla del sistema.



### 3. Plantilla.

El sistema funciona a manera de imágenes sobre puestas, por debajo de todas las imágenes que conforman el sistema se encuentra una plantilla base, los elementos como botones o indicadores colocados en esta plantilla aparecerán en todas las imágenes del sistema.



### 4. Tabla de variables del HMI

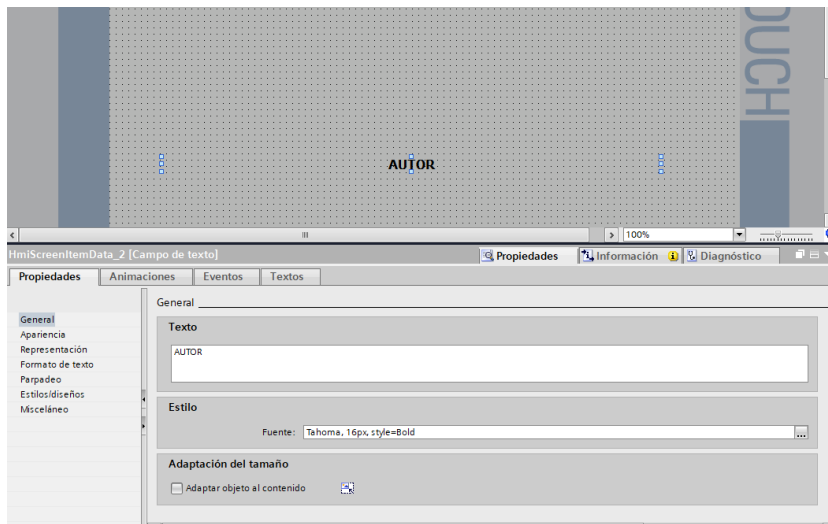


Es necesario establecer una conexión entre las variables del HMI y las del PLC, este enlace se establece por medio de una tabla de variables del HMI, las variables del HMI tienen las características de nombre, tipo de variable conexión y la variable del PLC con la que se enlaza.

Tabla de variables_1					
Nombre ▲	Tipo de datos	Conexión	Nombre del PLC	Variable PLC	
Setpoint	Int	HMI_Conexi....	PLC_1	SetPoint	
<Agregar>					

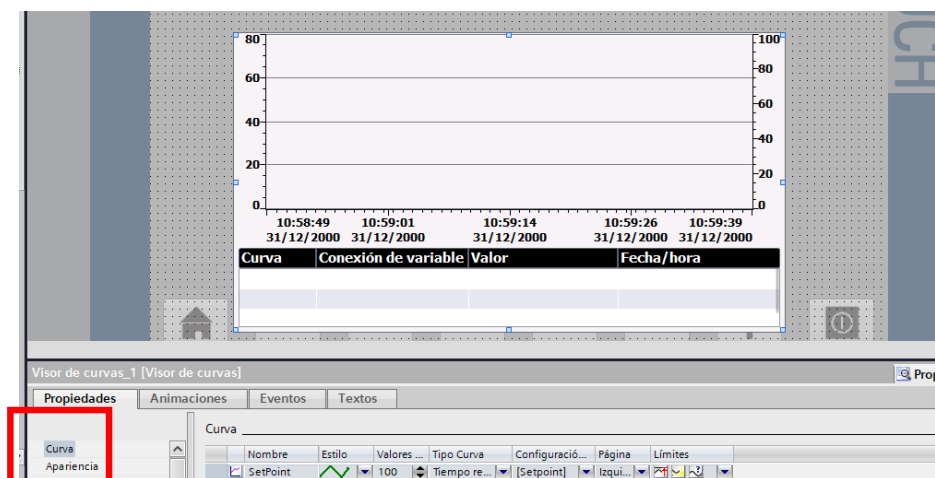
## 5. Añadir elementos

En el área de herramientas se localizan todos los elementos que se pueden usar para crear el HMI, los cuales se añaden simplemente arrastrándolos hacia el área de trabajo, la configuración de cada elemento se realiza en el área de propiedades.



## 6. Visor de curvas

El visor de curvas es un elemento de control que permite visualizar las curvas descritas por las variables asignadas. Para asociar las variables a este elemento es necesario ubicarse en el área de propiedades específicamente en la sección de curva, aquí se despliega una pantalla donde se escribe el nombre de la variable que se desea graficar.



# Bibliografía

---

- [1] Siemens AG, *Totally integrated automation sistema de información*, 2017.
- [2] ———, *Simatic s7-1200,s7-1500 regulación pid manual de funciones*, October 2018.
- [3] ———, *Objetos tecnológicos del simatic s7-1500(t)*, July 2019.
- [4] Paloma Carrasco Fernández, *Automatización de un parking mediante autómatas programables y scada*, 2018, pp. 45–50.